

**EVALUACIÓN DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR EN
COLOMBIA LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE SUPERPAVE PARA
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.**

**LINA MARCELA DUARTE SUAREZ
ERIKA VANESSA LIZCANO CARREÑO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2012**

**EVALUACIÓN DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR EN
COLOMBIA LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE SUPERPAVE PARA
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.**

**LINA MARCELA DUARTE SUAREZ
ERIKA VANESSA LIZCANO CARREÑO**

**Tesis Para Obtener El Titulo De
INGENIERA CIVIL**

**Director
ESP. NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA**

2012

NOTA DE ACEPTACION

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Julio del 2012.

DEDICATORIA

La presente monografía de grado es un esfuerzo en el cual participaron varias personas, quienes me dieron su apoyo, opinando, asesorando y dando ánimo en los momentos donde sentía crisis.

Agradezco a la Especialista Norma Cristina Solarte por haber confiado en mí y por la dirección de este trabajo. Al ingeniero David Santos por regalarnos su gran conocimiento y un poco de su valioso tiempo, a mi compañera de monografía de grado Erika Vanessa Lizcano, porque me dio su respaldo y paciencia.

Gracias también a la Universidad Pontificia Bolivariana y a las empresas Asfaltar, consorcio Helios y Corasfaltos, que nos permitieron realizar los ensayos en sus laboratorios. Y por último y no menos importante a Dios y a mi familia, por ser ellos la fuerza que me impulsa a seguir adelante todos los días de mi vida. Gracias a todos.

LINA MARCELA DUARTE SUAREZ.

DEDICATORIA

Quiero agradecer a mi familia por acompañarme en cada una de las etapas importantes de mi vida, quiero darle gracias a todos los profesores que hicieron de mí una buena ingeniera y una mejor persona. A la especialista Norma Cristina Solarte y al ingeniero David Santos, por sus consejos y ayuda desinteresada. De igual manera mi más sincero agradecimiento a Asfaltar y Corasfaltos quienes permitieron que esta monografía de grado tuviera todo el trabajo requerido de los laboratorios acreditados y reconocidos en la materia.

En general quisiera agradecer a todos y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta monografía, con sus altos y bajos.

Siempre estaré agradecida.

ERIKA VANESSA LIZCANO CARREÑO

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
2. ANTECEDENTES	20
2.1 BREVE HISTORIA DEL MÉTODO MARSHALL	21
2.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INVIAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	21
2.3 BREVE HISTORIA DEL MÉTODO SUPERPAVE	24
2.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SUPERPAVE	25
3. MÉTODO MARSHALL	29
3.1 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL	29
3.2 METODOLOGÍA DEL MÉTODO MARSHALL	32
3.3 ENSAYOS Y CÁLCULOS PARA EL ANÁLISIS FÍSICO DE LOS AGREGADOS	33
3.3.1 Granulometría (NORMA I.N.V. E – 213 – 07).	33
3.3.2 Peso Específico Y Absorción De Los Agregados (BULK, SSS, APARENTE) (NORMA INV E-222/223).	39
3.3.3 Índice De Aplanamiento Y Alargamiento De Los Agregados	45
3.3.4 Partículas planas y alargadas (relación 5:1)	46
3.3.5 Contenido De Materia Orgánica	48
3.3.6 Resistencia Al Desgaste Máquina De Los Ángeles	50
3.3.7 Porcentaje De Caras Fracturadas De Los Agregados	52
3.3.8 Micro-Deval	53
3.3.9 Equivalente De Arena	55
3.3.10 Solidez	57
3.3.11 Angularidad De Arena	62

3.3.12 10% Finos	64
3.3.14 Concentración real en volumen	70
3.3.15 Contenido de impurezas	72
3.4 ENSAYOS PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO	72
3.4.1 Penetración	72
3.4.2 Índice de penetración	74
3.4.3 Viscosidad 60°	74
3.4.4 Curva reologica del asfalto	74
3.4.5 Peso específico	77
3.5 PRUEBAS AL CONCRETO ASFÁLTICO	78
3.5.1 Módulos dinámicos	78
3.5.2 Ley de fatiga	78
3.5.3 Inmersión – compresión	81
3.5.4 Gmm Rice	81
3.5.5 Deformación Permanente	85
4. MÉTODO SUPERPAVE NIVEL 1	87
4.1 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	88
4.1.1 Propiedades de consenso	88
4.1.2 Propiedades de origen	90
4.2 ENSAYOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS	92
4.2.1 Granulometría	92
4.2.2 Gravedad específica de los agregados minerales	94
4.3 COMPACTACIÓN GIRATORIA SUPERPAVE	97
4.3.1 Preparación del espécimen	99
4.3.2 Procedimiento global	99
4.3.3 Análisis de resultados	101
4.3.3.1 Mezcla de prueba	101
4.3.3.2 Mezcla de diseño	109
5.2 RESULTADOS POR LAS ESPECIFICACIONES POR EL MÉTODO SUPERPAVE	117

5.3 COMPARACIONES DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO MARSHALL Y SUPERPAVE	117
6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL METODO SUPERPAVE EN COLOMBIA	121
6.1 VENTAJAS	121
6.2 DESVENTAJAS	121
7. CONCLUSIONES	123
8. RECOMENDACIÓN	125
BIBLIOGRAFÍA	126
ANEXOS	130

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Lavado del material de Agregado Grueso	33
Figura 2. Lavado del material de Agregado Fino	34
Figura 3. Agregado Grueso después de haberlo sacado del horno	34
Figura 4. Equipo para ensayo del análisis granulométrico	34
Figura 5. Curva granulométrica del agregado grueso, comparado con la de la norma	35
Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino, comparado con la de la norma	36
Figura 7. Curva granulométrica de los agregados gruesos y finos, en relación con los parámetros de la norma	37
Figura 8. Curva granulométrica de la curva resultante	38
Figura 9. Secuencia del Procedimiento del ensayo peso específico de los agregados	39
Figura 10. Plantilla de Aplanamiento	45
Figura 11. Plantilla de Alargamiento	45
Figura 12. Plantillas Relación 5:1	46
Figura 13. Procedimiento del ensayo de contenido de materia orgánica	48
Figura 14. Equipo del ensayo de la resistencia al desgaste de la Maquina de los Ángeles	51
Figura 15. Material junto con las once esferas	51
Figura 16. Equipo Microdeval	54
Figura 17. Procedimiento del ensayo equivalente de arena	56
Figura 18. Procedimiento del ensayo de solidez de los agregados	58
Figura 19. Procedimiento del ensayo de angularidad de la arena	63
Figura 20. Procedimiento del ensayo 10% finos	65
Figura 21. Equipo del ensayo de CPA	68
Figura 22. Equipo del ensayo de penetración	73

Figura 23. Curva reologica del asfalto	76
Figura 24. Equipo NAT (Nottingham Asphalt Tester)	79
Figura 25. Relación del número de ciclos de falla y deformación	80
Figura 26. Procedimiento del ensayo Gmm Rice	82
Figura 27. Grafica representativa del % de asfalto con el Gmm Rice	84
Figura 28. Deformación permanente	86
Figura 29. Curva granulométrica de los agregados	93
Figura 30. Curva granulométrica por el método Superpave	93
Figura 31. Equipo Compactador Giratorio Superpave	98
Figura 32. Relación del número de giros y el porcentaje de Gmm, de los tres especímenes y el promedio	106
Figura 33. Relación del porcentaje de Gmm con el número de giros en los cuatro porcentajes de asfalto	111
Figura 34. Regresión lineal entre el porcentaje de vacíos con el porcentaje de asfalto	112
Figura 35. Representación del porcentaje de vacíos en agregado mineral y de asfalto	113
Figura 36. Representación del porcentaje de vacíos llenos de asfalto y de asfalto	113
Figura 37. Método de Diseño Vs % contenido de asfalto	118
Figura 38. Porcentaje de vacíos Vs porcentaje de asfalto	118
Figura 39. Porcentaje de vacíos con agregado mineral Vs Porcentaje de asfalto	119
Figura 40. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto Vs Porcentaje de asfalto	119

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Requisitos de los agregados pétreos para mezclas bituminosas.	
Nivel de transito NT3	23
Tabla 2. Especificaciones del cemento asfáltico	24
Tabla 3. Especificaciones técnicas por el Método Superpave	27
Tabla 4. Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el Método Marshall	30
Tabla 5. Granulometría del Agregado Grueso	35
Tabla 6. Granulometría del Agregado Fino	36
Tabla 7. Combinación granulométrica	37
Tabla 8. Formula de Trabajo	38
Tabla 9. Datos obtenidos por medio del ensayo peso específico en agregados gruesos	43
Tabla 10. Datos obtenidos por medio del ensayo peso específico en agregados gruesos	44
Tabla 11. Datos obtenidos por medio del ensayo peso específico en agregados gruesos	46
Tabla 12. Resultados obtenidos del ensayo contenido de materia orgánica	50
Tabla 13. Resultados obtenidos por el ensayo a la resistencia del desgaste Maquina de los Ángeles	52
Tabla 14. Resultados obtenidos en el ensayo de caras fracturadas de los agregados	53
Tabla 15. Resultados obtenidos del ensayo equivalente de arena	57
Tabla 16. Análisis del agregado grueso y agregado fino con la acción de la solución del sulfato de magnesio	60
Tabla 17. Análisis del agregado grueso y agregado fino con la acción de la solución del sulfato de magnesio	61
Tabla 18. Material Retenido en ½" y 3/8"	69

Tabla 19. Resultados obtenidos del ensayo de la concentración critica del llenante mineral	71
Tabla 20. Resultados obtenidos del ensayo de peso del llenante en tolueno	71
Tabla 21. Datos obtenidos del ensayo de contenido de impurezas	72
Tabla 22. Muestras promedio de la penetración a que se somete el material	73
Tabla 23. Propiedades de la curva reológica del asfalto	75
Tabla 24. Análisis de la curva reologica en cuanto a la temperatura y la viscosidad	75
Tabla 25. Temperaturas óptimas de mezclado en laboratorio y la Compactación en el laboratorio	76
Tabla 26. Composición química del asfalto 60/70	77
Tabla 27. Resultados del peso específico del asfalto	77
Tabla 28. Resultados del ensayo de la ley de fatiga	80
Tabla 29. Resultados obtenidos por medio del ensayo Gmm Rice	84
Tabla 30. Resultados obtenidos de la deformación permanente	85
Tabla 31. Metodología Superpave	87
Tabla 32. Porcentaje de las caras fracturadas	89
Tabla 33. Promedio del porcentaje de fino en agregado sin compactar	89
Tabla 34. Porcentaje equivalente de Arena	90
Tabla 35. Datos obtenidos	91
Tabla 36. Resultados del agregado frente a las soluciones de sulfato de sodio y magnesio	91
Tabla 37. Gradación MDC-2, según INVIAS	92
Tabla 38. Puntos de control	93
Tabla 39. Peso especifico de los agregados gruesos	95
Tabla 40. Peso especifico de la arena	96
Tabla 41. Peso especifico del Filler	97
Tabla 42. Numero de giros dependiendo del promedio de la máxima temperatura	100
Tabla 43. Gravedades específicas	101

Tabla 44. Datos iniciales para la realización del diseño de la mezcla asfáltica de prueba	102
Tabla 45. Resultados obtenidos de las tres pruebas de mezclas dando como resultado el porcentaje de Gmm promedio	104
Tabla 46. Gmm briqueta óptimo	108
Tabla 47. G Bulk	108
Tabla 48. Resumen de la compactación de la mezcla asfáltica	109
Tabla 49. Resumen de la compactación de la mezcla asfáltica	110
Tabla 50. Resumen de la compactación de la mezcla asfáltica	110
Tabla 51. Resumen de la compactación de la mezcla asfáltica	111
Tabla 52. Finalización del diseño de la mezcla	111
Tabla 53. Comparación de resultados con los criterios que rigen el Método Superpave	114
Tabla 54. Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el Método Marshall – artículo 450 – 07	114
Tabla 55. Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas. Nivel transito NT3	115
Tabla 56. Propiedades de la mezcla de diseño	117
Tabla 57. Propiedades de la mezcla de agregado estimado	117
Tabla 58. Comparación de los dos Métodos de Diseño Marshall y Superpave	120

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. DISEÑO POR EL METODO MARSHALL	131
ANEXO 2. GRAFICAS SOBRE EL METODO MARSHALL	132
ANEXO 3. METODO DE DISEÑO SUPERPAVE, MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON PBE	135
ANEXO 4. GRAFICA DE LA MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON PBE	141
ANEXO 5. MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON +0,5%	142
ANEXO 6. GRAFICA DE LA MEZCLA COMPACTADA PBE +0,5%	148
ANEXO 7. MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON PBE -0,5%	149
ANEXO 8. GRAFICA DE LA MEZCLA COMPACTADA	156
ANEXO 9. MEZCLA COMPACTADA CON PBE +1,0%	157
ANEXO 10. GRAFICA DE LA MEZCLA COMPACTADA	164
ANEXO 11. CARTA DE PERMISO PARA PODER UTILIZAR LOS RESULTADOS DEL ENSAYO CPA	165

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR EN COLOMBIA LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE SUPERPAVE PARA DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.

AUTORES: ERIKA VANESSA LIZCANO
LINA MARCELA DUARTE SUAREZ

DESCRIPCION

Se realiza una comparación de dos métodos de diseño de mezclas asfálticas en caliente, el método Marshall el cual es el más usado en Colombia por la exigencia en las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras en Colombia del Instituto Nacional de Vías, INVIAS y el método Superpave, desarrollado por el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, SHRP por sus siglas en inglés, del Departamento de Transporte de Estados Unidos de Norteamérica.

En el presente trabajo de grado se hacen análisis de las características dinámicas y físicas de las mezclas asfálticas elaboradas por ambos métodos, utilizando el asfalto 60/70 de la refinería de Barrancabermeja y los agregados de la Cantera de Pescadero. El método de diseño de mezcla asfáltica Marshall es destructivo para obtener el contenido óptimo de asfalto, mientras que en el método Superpave se llega al nivel de asfalto óptimo analizando las propiedades volumétricas de la mezcla.

El uso del compactador giratorio Superpave simula de manera real lo acontecido en campo en el momento de la compactación debido al sistema de presión, densificación por amasado y al modo de compactación por giros, mientras el método Marshall utiliza un martillo con un peso 8 kg con el cual se aplica a la muestra una cantidad de golpes estandarizados simulando la compactación de obra. Como principal diferencia encontrada se identificó que el contenido óptimo de asfalto, cambió entre un método y otro, para unos mismos niveles de exigencia de diseño, lo cual tiene trascendencia en los presupuestos de obra que se realizan en el país.

PALABRAS CLAVES: MARSHALL, SUPERPAVE, MEZCLAS ASFALTICAS, COMPACTADOR GIRATORIO, GRANULOMETRIA, PESOS ESPECIFICOS, MARTILLO MARSHALL, AGREGADORES, ENSAYOS, ESPECIFICACIONES, ASFALTO, MEZCALS DENSAS

SUMMARY

TITLE: EVALUATION OF THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF USING COLOMBIA IN THE TECHNICAL SPECIFICATIONS SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN CONVENTIONAL.

AUTHORS: ERIKA VANESSA LIZCANO
LINA MARCELA SUAREZ DUARTE

DESCRIPTION

A comparison of two methods of design of hot mix asphalt, the Marshall method which is used in Colombia by the requirement in the technical specifications for the construction of roads in Colombia's National Roads Institute, and the method INVIAS Superpave, developed by the Strategic Highway Research, SHRP for its acronym in English, Department of Transportation United States.

In this paper grade are testing their physical and dynamic characteristics of asphalt mixtures prepared by both methods, using the asphalt 60/70 of the Barrancabermeja refinery and aggregates quarry Pescadero. The method of asphalt mix design Marshall is destructive to obtain optimum asphalt content, whereas in the method level is reached Superpave asphalt optimum volumetric analyzing the properties of the mixture.

The use of Superpave gyratory compactor simulates actual developments in the field in the time of compaction due to system pressure, densification by kneading and compacting mode turns, while the Marshall method using a hammer weighing 8 kg which is applied to the sample an amount of compaction blows simulating standardized force.

As the main difference found was identified that the optimum asphalt content changed between one method and another, for a same exacting standards of design, which has significance in the budgets of work carried out in the country.

KEY WORDS: MARSHALL, SUPERPAVE, ASPHALT MIXTURES, GYRATORY COMPACTOR, GRAIN SIZE, SPECIFIC GRAVITY, HAMMER MARSHALL, AGGREGATORS, TESTING, SPECIFICATIONS, ASPHALT, DENSE MIXTURES

INTRODUCCION

El principal objetivo en el diseño de una mezcla asfáltica es determinar la proporción óptima de agregado y asfalto que nos garantice un mayor grado de desarrollo del pavimento y una manejabilidad adecuada para su colocación. Los métodos de diseño utilizados para la determinación del contenido de asfalto óptimo incluyen una serie de parámetros que los diferencia entre si y que pueden llegar a influir y por ende a alterar los resultados finales. Los métodos utilizados en Colombia nos entregan información que permite establecer el porcentaje óptimo del ligante en términos volumétricos y podría decirse que los ensayos de repente no resultan tan representativos, tal es el caso del Método Marshall el cual aplicaremos en este trabajo, por tal motivo se plantea verificar a través de la estimación de módulos y ensayos RLA (Repeated Load Axial Test), si el porcentaje de asfalto óptimo realmente lo es y si aspectos como el método de compactación, la temperatura y frecuencia de ensayos inciden o determinan cual puede ser el mejor valor para adoptar el diseño de mezclas según sea el caso. Los métodos de compactación, que implica este diseño, fácilmente se pueden dividir en dos compactaciones por impacto y por amasado buscando reproducir teóricamente el comportamiento y las condiciones encontradas en campo.

El presente documento pretende determinar el comportamiento dinámico de las mezclas tipo MDC-2, para un nivel de tránsito NT3 al ser aplicados a los Métodos Marshall y Superpave, en distintas condiciones de compactación y temperatura.

El primer capítulo establece los objetivos trazados para este trabajo y el capítulo dos corresponde al marco histórico y normativo que se utiliza para ambos métodos, El capítulo tres detalla la metodología y ensayos usados para para la caracterización de los agregados. El capítulo cuatro se refiere a la caracterización del cemento asfáltico por ambos métodos. El siguiente capítulo describe el diseño por el método Marshall y por el método Superpave. El capítulo cinco y seis

menciona los resultados obtenidos y las ventajas y desventajas del uso de uno o del otro. Finalmente se realizan las conclusiones y recomendaciones. El Finalmente se compara el porcentaje de asfalto óptimo obtenido a través de cada uno de los dos métodos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las ventajas y desventajas de usar en Colombia las especificaciones SUPERPAVE en el diseño de mezclas asfálticas. Realizar los ensayos correspondientes para el diseño de las mezclas asfálticas para pavimentos flexibles propuestas por los métodos de SUPERPAVE e INVIAS y de esta manera hacer las comparaciones respectivas para determinar cuál método maneja los mejores parámetros en cuanto a calidad.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Realizar los ensayos correspondientes para caracterizar los materiales por la metodología de SUPERPAVE.

Realizar los ensayos correspondientes para caracterizar los materiales por la metodología de INVIAS.

Describir, analizar y evaluar los componentes y las características de los ensayos formulados por cada uno de los métodos.

Comparar desde el punto de vista de calidad, los resultados de los métodos de SUPERPAVE E INVIAS.

2. ANTECEDENTES

Hoy en día, el pavimento asfáltico es la alternativa de uso mayoritario en la infraestructura vial, en Colombia más del 65% de las vías están construidas en pavimento asfáltico [1], razón por la cual es de vital importancia conocer y estar al tanto de los nuevos avances que permiten incrementar la vida útil y sobre todo la calidad de él. Es por eso que se ha puesto mucho énfasis en profundizar más acerca de la ciencia de los materiales y mezclas que componen dicha estructura de pavimento.

Como efecto, de que el ligante asfáltico es un material susceptible a las variaciones térmicas, es por esto que es necesario que los ensayos utilizados para clasificarlo muestren condiciones específicas de temperatura. Surge así un sistema que determine adecuadamente las características del material y que defina los requisitos mínimos del asfalto en cuanto a sus propiedades reológicas y a las temperaturas a las que estarán expuestos durante su vida útil.

Las especificaciones técnicas de SUPERPAVE, creadas por el programa SHRP (Strategic Highway Research Program), que en el idioma español se definen como el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, desarrollado entre los años 1987 y 1997 en los Estados Unidos, el cual considera nuevas especificaciones acerca del asfalto, del agregado y un nuevo método de diseño para mezclas asfálticas en caliente. En él los ligantes son clasificados dentro de un rango de temperatura en el cual el pavimento tiene propiedades físicas, para asegurar así un buen comportamiento. Por ende, es muy importante determinar las diferentes temperaturas a las cuales estaría sometido el pavimento asfáltico dependiendo de su ubicación geográfica.

2.1 BREVE HISTORIA DEL MÉTODO MARSHALL

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall en el año de 1940 [2], ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrollo un criterio de diseño de mezcla. [3]

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25mm (1") o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos arriba de 38mm (1.5"), y están pensando para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados térmicos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64mm (2 ½ ") de alto y 102mm (4") de diámetro; se preparan mediante un procedimiento para calentar, combinar y compactar mezclas de asfalto-agregado (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad-análisis de vacíos, y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

2.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INVIAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para el control de calidad de los materiales se utilizan en esta monografía de grado los siguientes parámetros, ya que son fundamentales para el funcionamiento óptimo de los espesores de las capas estructurales del pavimento.

Se observa en la Tabla 1: Requisitos de los agregados pétreos para mezclas bituminosas. Nivel de transito NT3, los rangos límites de los diferentes ensayos que se evaluaron para el Método de Diseño Marshall, utilizando una mezcla densa en caliente.

Tabla 1. Requisitos de los agregados pétreos para mezclas bituminosas. Nivel de transito NT3

Tipo de tratamiento o mezcla	Desgaste de los ángeles	Desgaste Microdeval	Ensayo de Solidez		Caras Fracturadas %mínimo 1cara/2caras	Angularidad Método A (A. Fino)	Coeficiente de Pulimento Acelerado	Partículas Planas y Alargadas Relación (5:1)	Equivalente de Arena	Contenido de Impurezas (Agregado Grueso)
			Sulfato de Sodio	Sulfato de Magnesio						
Mezcla densa, Semidensa y gruesa en caliente	E -218/219	E-238	E-220	E-220	E-227	E-239	E-232	E-240	E-133	E-237
Agregado Grueso	25% máx (rodadura)	25% máx(rodadura)	12% máx	18% máx	75%/60% (Rodadura)		0,45 mín. (Rodadura)	10% máx		0,5% máx
Agregado Fino			12% máx	18% máx.		45% mín. (Rodadura)				
Gradación Combinada									50% mín.	

Fuente: Norma INVIAS Artículo 400-07

Tabla 2. Especificaciones del cemento asfáltico

CARACTERISTICAS		NORMA DE ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO
			CATEGORÍA DE TRÁNSITO			
			NT1	NT2	NT3	
Compactación (golpes/cara)		E-748	50	75	75	75
Estabilidad mínima (Kg)		E-748	500	750	900	1500
Flujo (mm)		E-748	2 - 4	2 - 4	2 - 3.5	2 - 3
Vacíos con aire (Va)*, %	Rodadura	E-736	3 - 5	3 - 5	4 - 6	-
	Intermedia	o	4 - 8	4 - 8	4 - 7	4 - 6
	Base	E-799	-	5 - 9	5 - 8	-
Vacíos en los agregados minerales (VAM), %	Mezclas 0	E-799	≥ 13	≥ 13	≥ 13	-
	Mezclas 1		≥ 14	≥ 14	≥ 14	≥ 14
	Mezclas 2		≥ 15	≥ 15	≥ 15	-
	Mezclas 3		≥ 16	≥ 16	≥ 16	-
% de vacíos llenos de asfalto (VFA) (Volumen de asfalto efectivo/ Vacíos en los agregados minerales)*100 Capas de rodadura e intermedia		E-799	65 - 80	65 - 78	65 - 75	63 - 75
Relación Llenante/Asfalto efectivo, en peso		E-799	0.8 - 1.2			1.2 - 1.4
Concentración de llenante, valor máximo.		E-745	Valor crítico			

Fuente: Norma INVIAS Artículo 400-07

2.3 BREVE HISTORIA DEL MÉTODO SUPERPAVE

En 1987, el Strategic Highway Research Program (SHRP) fue establecido por el congreso de los Estados Unidos con un presupuesto de 150 millones de dólares en programas de investigación, a fin de mejorar el desempeño y duración de las carreteras volviéndolas más seguras tanto para los automóviles como para los conductores de las mismas.[4]

Un tercio de este presupuesto se empleó en el desarrollo de especificaciones técnicas de desempeño del asfalto, basado directamente en los análisis de laboratorio y con aplicaciones en campo. Se inició así el desarrollo de un nuevo sistema para especificar materiales asfálticos, y el desarrollo de un nuevo sistema

de diseño de mezclas asfálticas llamado SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement). Tecnología que se convirtió en el producto final del programa.

Este método evalúa los componentes de la mezcla asfáltica en forma individual (agregado mineral y asfalto) y su interacción cuando están mezclados.

Según los investigadores del programa SHRP, las propiedades medidas de los ligantes asfálticos mediante los ensayos SUPERPAVE, pueden ser relacionadas directamente con su comportamiento en servicio por principios de ingeniería.

Los ensayos se realizan a las temperaturas que se encuentran los pavimentos asfálticos en servicio, para proveer mejor comportamiento del mismo en regiones climáticas específicas. Básicamente la estructura del pavimento, el diseño de la mezcla y las propiedades de la carpeta tal como fue construida junto con las propiedades del ligante, determinan el comportamiento del pavimento durante su vida útil. [5]

Por esto, el método busca principalmente la selección adecuada de los ligantes asfálticos en función del clima y la carga.

SUPERPAVE, intenta mejorar el comportamiento de los asfaltos para evitar que contribuya a producir en los pavimentos deformaciones permanentes, agrietamientos por fatiga y agrietamiento por bajas temperaturas.

2.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SUPERPAVE

Las nuevas especificaciones SUPERPAVE para ligantes asfálticos han sido pensadas en función del control de la deformación permanente, de la fisuración por bajas temperaturas y de la fisuración por fatiga de los pavimentos asfálticos.

Se observa los parámetros necesarios para ligantes asfálticos, teniendo en cuenta los requisitos de las especificaciones que son invariables y los requisitos de las especificaciones que son para el control de ahuellamiento.

A continuación se presenta un resumen de las especificaciones técnicas establecidas por el método Superpave.

Tabla 3. Especificaciones técnicas por el Método Superpave

Grado de performance	PG 52							PG 58					PG 64					PG 70			
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
Temperatura de diseño del pavimento promedio 7 días máximo, °C	< 52							<58					<64					<70			
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28
LIGANTE ORIGINAL																					
Temp. Del punto de inflamación, T48:Min,°C	230																				
Viscosidad, ASTM 4402, Max, 3 Pa.s(3000cP) Temp. Ensayo,°C	135																				
RESIDUO DEL ENSAYO DE PELICULA DELGADA ROTATORIA(T240) O PELICULA DELGADA(T179)																					
Pérdida de masa, Masa, %	1.00																				
Corte Dinámico, TP5: G*/sen□, Min. 2.20Kpa. Temp. Ensayo @10rad/s, °C	52							58					64					70			
RESIDUO DE LA VASIJA DE ENVEJECIMIENTO A PRESION, PAV																					
Temp. De envejecimiento PAV, °C	90							100					100					100(110)			
Corte Dinámico, TP5: G*/sen□, Max. 5000Kpa. Temp.	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	16	34	31	28	25

Grado de performance	PG 52							PG 58					PG 64					PG 70			
Ensayo @10rad/s, °C																					
Endurecimiento físico	REPORTE																				
Creep stiffness, TP1: S, Max. 300Mpa, Valor m, Min, 0.300 Temp. Ensayo @60seg, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18
Tracción directa, TP3. Deformación en la falla, Min, 1%. Temp ensayo @1.0mm/min, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18

Fuente: Manual Superpave (Antecedentes de los métodos de ensayo de ligantes asfálticos de SUPERPAVE).

3. MÉTODO MARSHALL

3.1 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL

La preparación de las briquetas y los ensayos que se realizaron fueron conformes a lo indicado en la norma INV E-748, empleando la prensa Marshall para la mezcla. Se prepararon cinco juegos de briquetas por tres unidades, cada una de cuatro pulgadas de diámetro por cada uno de los cinco contenidos de asfalto que se ensayaron para obtener una cantidad suficiente de puntos de tal forma que las curvas de datos muestren valores representativos.

Además, con base en la fórmula de trabajo y los porcentajes retenidos, se procedió a definir las cantidades y porcentajes de agregado y asfalto a mezclar por contenido hasta completar 1200 gramos de mezcla asfáltica por briqueta.

Se trabajó con un número de 75 golpes de compactación por cara a la temperatura determinada por la reología del bitumen sobre el pedestal de castigo, complementado según lo requerido por la norma del INVÍAS/07 en su artículo 450.4.2. Las mezclas asfálticas fueron compactadas con la utilización del martillo Marshall, con el objetivo de garantizar homogeneidad en la elaboración de las briquetas a ensayar para determinar más exactamente los valores en la definición de las curvas de interpretación Marshall en la obtención del porcentaje óptimo de asfalto en las mezclas.

Con base en la curva reológica del asfalto, se definieron las temperaturas de compactación sobre briquetas y de mezclado con los agregados. Al mismo tiempo, este parámetro fue de vital importancia para la determinación de la densidad bulk, que es necesaria para liberar por densidades de servicio la mezcla.

Se determinaron las curvas de variación con el asfalto para los valores de densidad bulk, estabilidad, vacíos en agregados minerales, flujo, vacíos en la mezcla y vacíos llenos de asfalto, determinando el contenido de asfalto en donde se cumpla simultáneamente con los siguientes requisitos establecidos en la norma INVÍAS-450/02 artículo 450.4.2.

Tabla 4. Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el Método Marshall

Característica	Norma	Categoría de Transito NT3
Compactación (golpes/cara)	E – 748	75
Estabilidad mínima(Kg)	E – 748	900
Flujo (mm)	E – 748	2 - 3.5
Vacíos con aire (Rodadura)	E - 736 O E – 799	4 – 6
Vacíos en los agregados minerales (Mezcla 2)	E – 799	≥15
% de vacíos llenos de asfalto	E – 799	65 – 75
Relación Llenante / asfalto	E – 799	0.8 - 1.2
Concentración de llenante, valor máximo	E – 745	Valor Critico

Fuente: Norma INVÍAS.

El método Marshall ha sido desarrollado desde hace 72 años; su inventor fue Bruce Marshall, quien tenía como principal objetivo determinar las densidades de las mezclas en obra y en laboratorio. Esto debido a que los aviones de la II Guerra Mundial obligaban a modificar el diseño de los asfaltos debido a su mayor peso, asignando así una gran prioridad a las propiedades volumétricas de la mezcla, las cuales son parte de los actuales criterios usados al momento de diseñar una mezcla asfáltica.[6]

El objetivo del diseño de una mezcla asfáltica es determinar una proporción adecuada de asfalto en la mezcla que permita asegurar diversas características al combinarlos con una gradación de agregados establecida, tales como:

- Una apropiada relación de vacíos en la mezcla compactada, la cual puede admitir pérdidas de estabilidad al momento de una pequeña compactación adicional producida por la sobrecarga del tránsito.
- Resistencia a las exigencias del servicio sin desplazamientos o distorsiones.
- Recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo.
- Trabajabilidad de la mezcla la cual permita una eficiente colocación al momento de la pavimentación. No debe producir segregación.

El método Marshall es usado para dosificar mezclas en caliente de agregados pétreos y cemento asfáltico con ó sin la adición de llenante mineral, sin embargo es más usado en asfaltos de alta penetración.

Este método permite determinar la relación densidad-vacíos de la mezcla, un análisis de la estabilidad que tiene la resistencia estructural relacionada con el contenido de asfalto y agregados pétreos, a su vez determina el flujo de la deformación que produce la fractura, el cuál es una simulación del comportamiento que tendrá la mezcla al momento de la acción de las cargas impuestas por el tránsito.

3.2 METODOLOGÍA DEL MÉTODO MARSHALL

Para la ejecución del método Marshall se elaboraron quince (15) muestras con cinco porcentajes diferentes. Cada probeta contó aproximadamente con 1.2 kg de agregados secos a 110°C, con la gradación deseada cumpliendo con lo exigido por la norma INVIAS. Seguidamente se elaboró una curva de calibración del cemento asfáltico necesaria para determinar la temperatura de la mezcla y compactación; en esta curva se apreció la variación de la viscosidad con la temperatura. ; Posteriormente, se calentó el agregado y el cemento asfáltico por aparte durante quince (15) minutos, y luego se mezcló rápidamente el cemento asfáltico con el agregado.

En la compactación de las probetas fue necesario calentar todo el equipo (el conjunto de collar, placa de base, cara del martillo de compactación) en un baño de agua, para luego ser armado todo el sistema de compactación, donde finalmente se aplicó con el martillo de compactación el número de golpes según la especificación de diseño.

Se retiraron las probetas compactadas del molde, para medir el diámetro y la altura, se pesaron las probetas calientes (después de la compactación), en frío y sumergidas. Estos pesos determinaron el peso específico “bulk” y el análisis de densidad y vacíos.

Por último se llevaron las probetas a un baño maría (sistema de calefacción) con una temperatura de 60°C durante 30 minutos, luego se probaron en el aparato Marshall midiendo la deformación y la carga máxima que se muestra al momento de la falla. Estos datos fueron usados para analizar la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica diseñada. [7]

3.3 ENSAYOS Y CÁLCULOS PARA EL ANÁLISIS FÍSICO DE LOS AGREGADOS

Existen factores en los agregados que pueden optimizar o desmejorar los resultados de la mezcla, por ejemplo: si los agregados tienen un mayor tamaño incrementa la estabilidad de la mezcla asfáltica, sin embargo si el agregado tiene partículas sin triturar, lisas y redondas, traerán consigo una menor estabilidad; por lo cual se debe garantizar que los agregados cumplan con los ensayos previstos por la norma.

Si se mezclan agregados gruesos ásperos con agregados finos de superficie fina, permitirán una mayor estabilidad con un incremento hasta el orden del 50%, por encima de los cuales la mezcla pierde estabilidad. [8]

3.3.1 Granulometría (NORMA I.N.V. E – 213 – 07). Este ensayo determinó de manera cuantitativa el porcentaje de los distintos tamaños de partículas en los agregados gruesos y finos (hasta el tamiz N°200), a su vez garantizó la estructura del agregado, para así determinar su mejor uso y verificar el cumplimiento de los requerimientos en las especificaciones INVIAS. [9]

Figura 1. Lavado del material de Agregado Grueso



Fuente: Diseño de los Autores (Lab. UPB)

Figura 2. Lavado del material de Agregado Fino



Fuente: Diseño de los Autores (Lab. UPB)

Figura 3. Agregado Grueso después de haberlo sacado del horno



Fuente: Diseño de los Autores (Lab. UPB)

Figura 4. Equipo para ensayo del análisis granulométrico



Fuente: Diseño de los Autores (Lab. UPB)

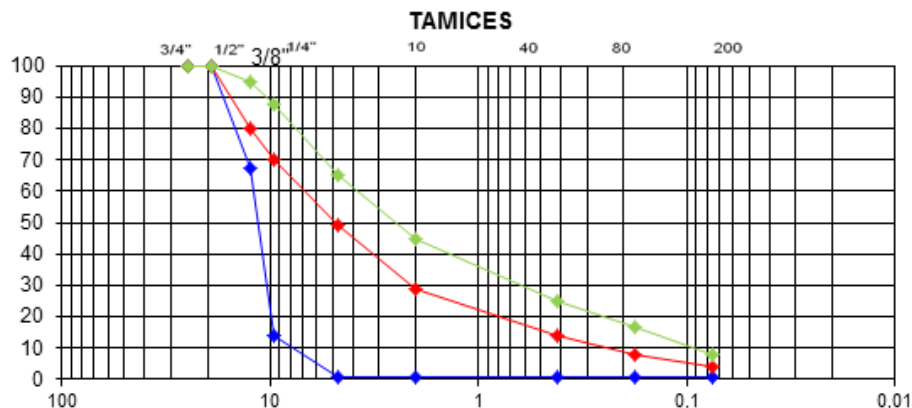
CALCULOS

AGREGADO GRUESO. Se visualiza en la tabla granulométrica el peso retenido y el porcentaje que pasó del material a ensayar, comparándolo con los parámetros máximos y mínimos de la norma. Además de que en el Filler no puede tener una perdida mayor al 0,1% de material. También se analizó que el porcentaje que pasa del material no cumplió con los parámetros máximos y mínimos de la norma INVIAS.

Tabla 5. Granulometría del Agregado Grueso

GRADACIÓN					
P1=	3.560,0	P2=	3.520,1	NORMA (%)	
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa	MIN.	MAX.
1"	0,0	0,0	100,0	100	100
3/4"	5,9	0,2	99,8	100	100
1/2"	1.248,2	35,1	64,8	80	95
3/8"	1.696,0	47,6	17,1	70	88
No. 4	425,0	11,9	5,2	49	65
No. 10	77,0	2,2	3,0	29	45
No. 40	34,2	1,0	2,1	14	25
No. 80	14,7	0,4	1,7	8	17
No. 200	19,1	0,5	1,1	4	8
Fondo	39,9	1,1	0,0		
Pasa 200	0,0	0,0	0,0		

Figura 5. Curva granulométrica del agregado grueso, comparado con la de la norma

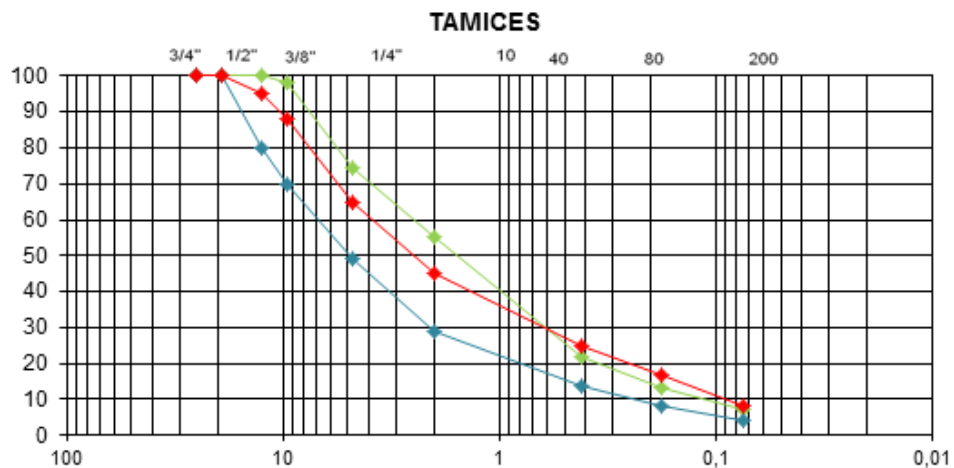


AGREGADO FINO. Se observa en la tabla granulométrica el peso retenido y el porcentaje que pasó del material a ensayar. Comparándolo con los parámetros máximos y mínimos de la norma. Además de que en el filler no puede tener una perdida mayor al 0,1%. También se analizó que el porcentaje que pasa del material no cumplió con los parámetros máximos y mínimos de la norma INVIAS.

Tabla 6. Granulometría del Agregado Fino

GRADACIÓN					
P1= 2.120,0		P2= 1.964,8		NORMA (%)	
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa	MIN.	MAX.
1"	0,0	0,0	100,0	100	100
3/4"	0,0	0,0	100,0	100	100
1/2"	5,1	0,2	99,8	80	95
3/8"	149,5	7,1	92,7	70	88
No. 4	338,1	15,9	76,8	49	65
No. 10	419,0	19,8	57,0	29	45
No. 40	557,1	26,3	30,7	14	25
No. 80	268,0	12,6	18,1	8	17
No. 200	228,0	10,8	7,3	4	8
Fondo	155,2	7,3	0,0		
Pasa 200	0,0	0,0	0,0		

Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino, comparado con la de la norma.

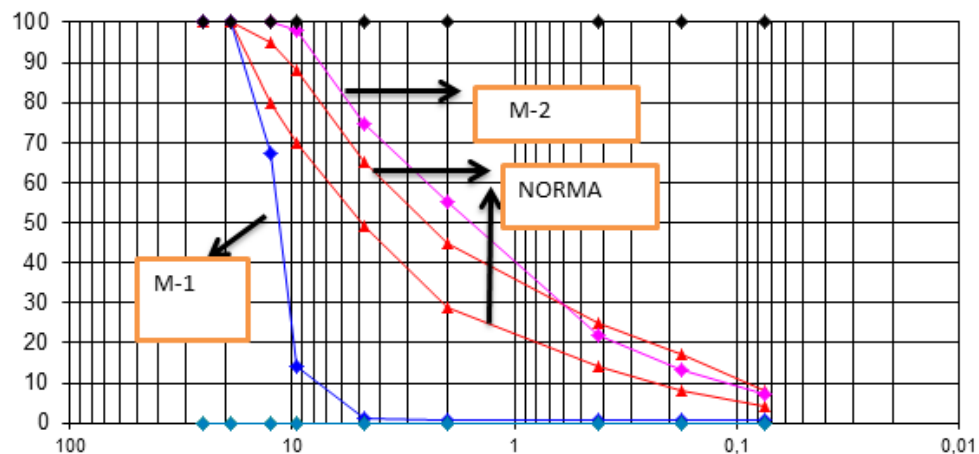


COMBINACION GRANULOMETRICA. En las tablas anteriores correspondientes a la granulometría del agregado grueso y fino no cumplieron dentro de los rangos máximos y mínimos de la norma INVIAS, es por esto que se debe realizar una combinación granulométrica.

Tabla 7. Combinación granulométrica

GRADACIONES PROMEDIO				
MATERIALES RESULTANTES A COMBINAR				
TAMIZ	M-1	M-2	NORMA	
			MINIMO	MAXIMO
1"	100	100	100	100
3/4"	99,8	100	100	100
1/2"	64,8	99,8	80	95
3/8"	17,1	92,7	70	88
No. 4	5,2	76,8	49	65
No. 10	3,0	57,0	29	45
No. 40	2,1	30,7	14	25
No. 80	1,7	18,1	8	17
No. 200	1,1	7,3	4	8
Fondo				

Figura 7. Curva granulométrica de los agregados gruesos y finos, en relación con los parámetros de la norma

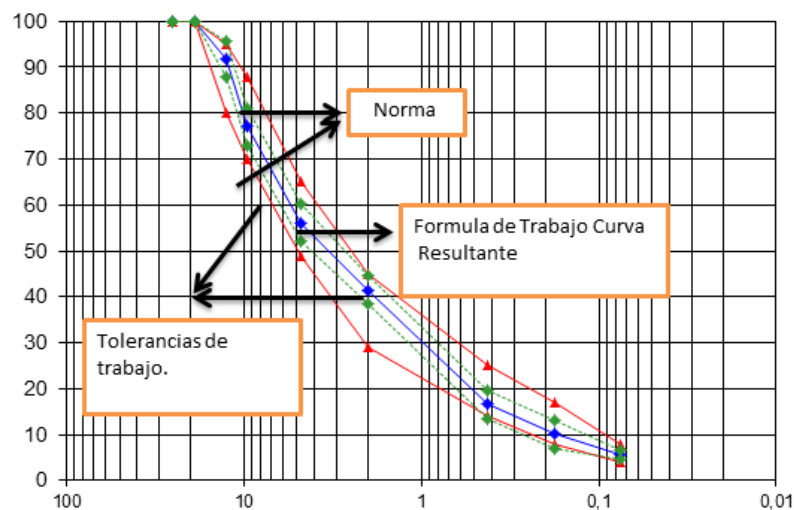


CURVA RESULTANTE. En la siguiente tabla muestra los porcentajes que pasan del agregado grueso y fino, donde a cada uno se le da un porcentaje y que al sumarlos deben dar como resultado cien por ciento (100%). Luego se suma cada porcentaje obtenido del material que se ensayó para dar como resultado una nueva curva granulométrica y así poderla comparar con los rangos de la norma INVIAS, donde se cumplió con lo esperado.

Tabla 8. Formula de Trabajo

TAMIZ	Porcentaje que Pasa		M-1	M-2	Total	Norma	
	M-1	M-2				Mínimo	Máximo
1"	100	100	27	73	100	100	100
3/4"	99,8	100	26,946	73	99,946	100	100
1/2"	64,8	99,8	17,496	72,854	90,4	80	95
3/8"	17,1	92,7	4,6	67,7	72,3	70	88
No. 4	5,2	76,8	1,4	56,064	57,5	49	65
No. 10	3,0	57,0	0,8	41,6	42,4	29	45
No. 40	2,1	30,7	0,6	22,4	23,0	14	25
No. 80	1,7	18,1	0,5	13,2	13,7	8	17
No. 200	1,1	7,3	0,3	5,329	5,6	4	8
Fondo	0,0	0,0	0	0	0		

Figura 8. Curva granulométrica de la curva resultante.



Fuente: Diseño de los autores – Lab. UPB.

3.3.2 Peso Específico Y Absorción De Los Agregados (BULK, SSS, APARENTE) (NORMA INV E-222/223). Este ensayo se realizó con el propósito de conseguir por medio de él la relación entre el peso y el volumen en condiciones saturadas y superficialmente secas; así mismo este ensayo determinó la absorción producida por la masa del agua que llena los poros permeables de las partículas de los agregados. [10]

Figura 9. Secuencia del Procedimiento del ensayo peso específico de los agregados.



Lavado de material agregado grueso



Equipo del peso específico de los agregados gruesos.



Introduciendo el material de agregado grueso, para después ser pesado.



Lavado del material de agregado fino



Se llena el cono y se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente y después se enrasa.



Se nivela ligeramente con 25 golpes de la varilla, cada golpe se debe dar, dejando ligeramente el pisón bajo la acción de la gravedad.



Se levanta el cono verticalmente con cuidado, para saber si la muestra ya está lista para ensayar.



Se llena parcialmente el picnómetro con agua. Inmediatamente, se introducen en el picnómetro, $500 \pm 10\text{g}$ del agregado fino saturado.



Se logra la agitación mecánica aplicando vibración externa al picnómetro de una manera que no degrade la muestra

CALCULOS

AGREGADO GRUESO

De los resultados obtenidos mediante el ensayo de peso específico para agregados grueso, se calculó el peso específico aparente, el peso específico aparente SSS, y el peso específico nominal, para después dar como resultado el porcentaje de absorción del agregado.

Tabla 9. Datos obtenidos por medio del ensayo peso específico en agregados gruesos.

Peso en el aire, g (A)	peso SSS, g (B)	Peso sumergido de la muestra SSS, g (C)	P.E. aparente	P.E. aparente SSS	P.E. Nominal	absorción, %
2998	3021	1881	2,630	2,651	2,686	0,787

Peso específico Aparente

$$\frac{\text{Peso en el aire}}{\text{Peso SSS} - \text{Peso sumergido de la muestra SSS}}$$

Peso específico Aparente SSS

$$\frac{\text{Peso SSS}}{\text{Peso SSS} - \text{Peso sumergido de la muestra SSS}}$$

Peso específico Nominal

$$\frac{\text{Peso en el aire}}{\text{Peso en el aire} - \text{Peso sumergido de la muestra SSS}}$$

Absorción %

$$\frac{\text{Peso SSS} - \text{Peso en el aire}}{\text{Peso en el aire}} * 100$$

AGREGADO FINO

De los resultados obtenidos mediante el ensayo de peso específico para agregados finos, se calculó el peso específico aparente, el peso específico aparente SSS, y el peso específico nominal, para después dar como resultado el porcentaje de absorción del agregado.

Tabla 10. Datos obtenidos por medio del ensayo peso específico en agregados gruesos.

Peso en el aire, g	peso matraz lleno de agua, g	peso de matraz aforado con muestra y agua, g	peso SSS, g	P.E. aparente	P.E. aparente SSS	P.E. Nominal	absorción, %
492,8	2118,5	2428,0	500,0	2,587	2,625	2,688	1,461

Peso específico Aparente

Peso en el aire

Peso matraz lleno de agua + Peso SSS – Peso de matraz aforado con muestra y agua

Peso específico Aparente SSS

Peso SSS

Peso matraz lleno de agua + Peso SSS – Peso de matraz aforado con muestra y agua

Peso específico Nominal

Peso en el aire

Peso matraz lleno de agua + Peso en el aire – Peso de matraz aforado con agua y muestra

Absorción %

$$\frac{\text{Peso SSS} - \text{Peso en el aire}}{\text{Peso en el aire}} * 100$$

3.3.3 Índice De Aplanamiento Y Alargamiento De Los Agregados. Mediante este ensayo previsto por la norma invias I.N.V.E-230-07, se determinó el porcentaje en peso de las partículas que contienen una dimensión mínima (espesor) ó inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción, a su vez se encontró la fracción en peso de agregado con dimensiones máximas (longitud) o superiores a 9/5 de la dimensión media de la fracción. [11]

Figura 10. Plantilla de Aplanamiento



Fuente: Diseño de los Autores (Lab. UPB)

Figura 11. Plantilla de Alargamiento



Fuente: Diseño de los Autores (Lab. UPB)

CALCULOS

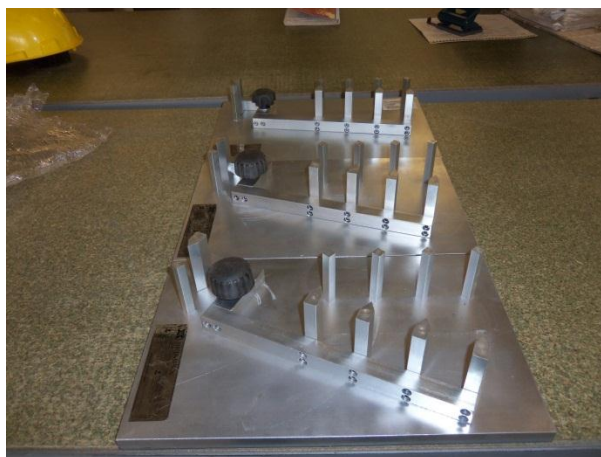
De los resultados obtenidos mediante el ensayo de índice de alargamiento y aplanamiento, se calculó el porcentaje de partículas planas y alargadas.

Tabla 11. Datos obtenidos por medio del ensayo peso específico en agregados gruesos.

Tamiz		Peso Total		Planas Y Alarg (Grs)		Peso De Partículas No Planas Y Alargadas		Porcentaje De Partículas Planas Y Alargadas
Pasa	Retiene	Nº Partículas	Peso Partículas	Nº Partículas	Peso Partículas	Nº Partículas	Peso Partículas	
1"	3/4"							
3/4"	1/2"	399	2021,5	7	31,64	392	1989,86	1,57
1/2"	3/8"	563	977,15	10	38,33	553	938,82	3,92
TOTAL		962	2998,65	17	69,97	945	2928,68	5,49

3.3.4 Partículas planas y alargadas (relación 5:1). Este ensayo mide partículas individuales de agregado de una fracción de tamaño específico de tamiz para determinar las relaciones de ancho-espesor, longitud-ancho o longitud-espesor.

Figura 12. Plantillas Relación 5:1



Fuente: Consorcio Helios

CALCULOS

En este formato se observa, los resultados obtenidos del ensayo de la geometría de partículas de agregado grueso por medio del consorcio vial (HELIOS)

		GEOMETRIA DE PARTICULAS AGREGADO GRUESO		Código: F-13-5	
				Versión: 1	
		I.N.V. E-227-07/ E-230-07		Fecha: 29/02/2012	
PROYECTO			FECHA DE EJECUCION		07/05/2012
CLIENTE	UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARINA - ASFALTART S.A.		FUENTE		CANTERA PESCADERO
DESCRIPCIÓN	TRITURADO		MUESTRA		S20251
Masa de la muestra inicial Mo (g)		2000	Tamaño máximo del agregado (plg):		¾
Fracción granulométrica di/Di	Masa (g) o Número de partículas ensayadas	PLANAS	ALARGADAS		
		Partículas Planas	Porcentaje Partículas Planas (%)	Partículas Alargadas	Porcentaje Partículas alargadas (%)
50/63					
35/50					
25/38					
19/25					
12,5/19	100	10	10	2	2
9,5/12,5	100	11	11	3	3
4,75/9,5				1	
TOTALES	200	21		6	
INDICE DE PLANAS GLOBAL		11	PARTICULAS NI PLANAS NI ALARGADAS		173
INDICE DE ALARGADAS GLOBAL		3			
Fracción granulométrica di/Di	Masa (g) o Número de partículas ensayadas	PLANAS Y ALARGADAS			
		Partículas planas y alargadas	Porcentaje de Partículas planas y alargadas (%)		
50/63					

		GEOMETRIA DE PARTICULAS AGREGADO GRUESO		Código: F-13-5
		I.N.V. E-227-07/ E-230-07		Versión: 1
				Fecha: 29/02/2012
35/50				
25/38				
19/25				
12,5/19	100	7	7	
9,5/12,5	100	6	6	
4,75/9,5				
TOTALES	200	13		
INDICE PLANAS Y ALARGADAS	7		PARTICULAS NI PLANAS NI ALARGADAS	187
REALIZO	HUGO ROMERO	REVISO	FERNANDO VALERA	APROBO
				ING. DAVID SANTOS

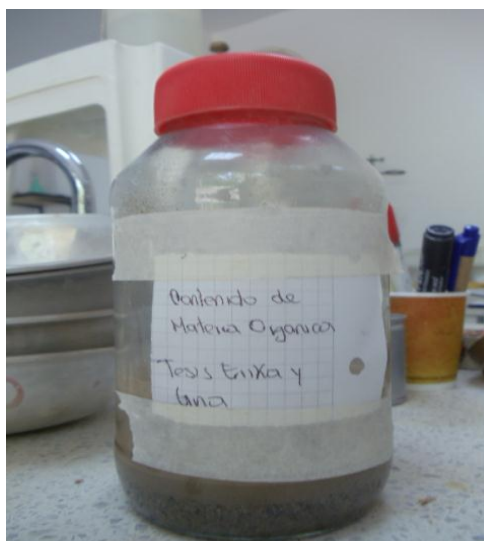
Fuente: Consorcio Helios

3.3.5 Contenido De Materia Orgánica. Por medio de la presente norma se encontró una aproximación del contenido de impurezas orgánicas desfavorables para el agregado fino. Estos resultados fueron utilizados para ser comparados por los parámetros de aceptabilidad relacionados con impurezas orgánicos, descritos en la NTC 174. [12]

Figura 13. Procedimiento del ensayo de contenido de materia orgánica



Peso de la densidad de la solución a ensayar.



Se tapa el frasco, se agita vigorosamente y se deja reposar por 24 horas.



Después de haber estado en reposo 24 horas, se observa que color fue el obtenido para dar como resultado la referencia orgánica.

CALCULOS

En estas tablas que se presentan a continuación se observa el número de referencia orgánica que dio como resultado el material de agregado.

Tabla 12. Resultados obtenidos del ensayo contenido de materia orgánica

RESULTADO CUALITATIVO				
MATERIAL	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
	Color Gris Claro			
NUMERO DE REFERENCIA ORGÁNICA	1			
TABLA DE COLORES				
No. De Color	Referencia Orgánica	Color Tabla de Colores ASTM C-40	Contenido de M. O.	
5	1	AMARILLO CLARO	MUY BAJO	
8	2	AMARILLO	BAJO	
11	3	ÁMBAR	MEDIO	
14	4	ÁMBAR OSCURO	ALTO	
16	5	NEGRO	MUY ALTO	

3.3.6 Resistencia Al Desgaste Máquina De Los Ángeles. El método se empleo para determinar la resistencia de los agregados triturados de tamaños menores de (1 ½ ") al desgaste que se produce por abrasión de las partículas y por una carga abrasiva, con el empleo de la máquina de los ángeles. [13]

Figura 14. Equipo del ensayo de la resistencia al desgaste de la Maquina de los Ángeles



Figura 15. Material junto con las once esferas.



Fuente: Diseño de los Autores (Lab. UPB)

CALCULOS

Se ensayo tres veces el mismo material, para poder obtener un porcentaje promedio de desgaste del agregado, en el cual se utilizo una gradación B, de acuerdo a la granulometría, en el cual el número de esferas son 8 y el número de revoluciones por minuto son 500, donde dieron como resultado un promedio de 23,9%.

Tabla 13. Resultados obtenidos por el ensayo a la resistencia del desgaste Maquina de los Ángeles

PRUEBA	1	2	3	PROMEDIO
Gradación Usada	B	B	B	
Numero de Esferas	11	11	11	
Numero de Revoluciones	500	500	500	
Peso muestra seca antes del ensayo (Grs)	5000,24	5000,35	5000,18	
Peso muestra después del ensayo (Grs)	3799,4	3809,7	3803,55	
Perdida (Grs)	1200,84	1190,65	1196,63	
Porcentaje desgaste (%)	24,0%	23,8%	23,9%	23,9%
Especificación	25			

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES								
TAMAÑOS		PESO Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA EN GRAMOS						
PASA	RETIENE	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	No. 3			2500				
No. 3	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
No. REVOLUCIONES		500	500	500	500	1000	1000	1000

3.3.7 Porcentaje De Caras Fracturadas De Los Agregados. Con este ensayó se encontró el porcentaje en masa de una muestra de agregado las cuales estaban compuestas por partículas fracturadas las cuales fueron comparadas por los parámetros exigidos por la norma. [14]

CALCULOS

Se observa en la tabla los diferentes porcentajes de material fracturado, de una cara y dos caras, en el cual como norma exige que para una cara fracturada para un NT3 es del 85% mínimo y para dos caras fracturadas 70% mínimo.

Tabla 14. Resultados obtenidos en el ensayo de caras fracturadas de los agregados

TAMIZ		PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS	CARAS FRACTURADAS CON 2 CARAS	CARAS FRACTURADAS CON 1 CARA	PORCENTAJE RETENIDO 1 CARA	PORCENTAJE RETENIDO 2 CARA	A X B (1 CARA)	A X B (2 CARAS)	CARAS NO FRACTURADAS
PASA	RETIENE								
1 1/2"	1"								
1"	3/4"								
3/4"	1/2"	615,1	515,4	60,8	9,88	83,79	600,98	43186,01	38,9
1/2"	3/8"	1506,8	1481,9	18,7	1,24	98,35	23,21	145741,15	6,2
TOTAL		2121,9	1997,3	79,5	11,13	182,14	624,19	188927,16	45,1
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS APARTIR DE 2 CARAS							74,94		
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS APARTIR DE 1 CARA							96,22		
Especificación INVIAS NT3 1 cara				85%min					
Especificación INVIAS NT3 2 caras				70%min					

3.3.8 Micro-Deval. Por medio del aparato Micro-Deval se consiguió la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión, siendo este método otro parámetro alternativo al ya tomado en cuenta con la máquina de los ángeles.[15]

Figura 16. Equipo Microdeval



Fuente: Asfaltar

CALCULOS

En este formato se observa, los resultados obtenidos del ensayo de la determinación de la resistencia al desgaste utilizando el equipo Micro-deval por medio del consorcio vial (HELIOS)

	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE UTILIZANDO EL EQUIPO MICRO-DEVAL INV E-238-07		Código: F-13-32
			Versión: 0
			Fecha: 15/12/2011
PROYECTO:		FECHA DE EJECUCION:	06/05/2012
CLIENTE:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – ASFALTART S.A.	MUESTRA:	
DESCRIPCIÓN:	AGREGADO PARA MEZCLA ASFALTICA	FUENTE:	C. PESCADERO
MUESTRA	1	2	
Descripción	TRITURADO	NORMALIZADA	
Gradación empleada	2	2	
Pa: Masa muestra seca antes del ensayo (g)	1500,2	1500	

		DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE UTILIZANDO EL EQUIPO MICRO-DEVAL INV E-238-07				Código: F-13-32
						Versión: 0
						Fecha: 15/12/2011
Pb: Masa muestra seca y después de lavado tamices No. 4 y No.16 después del ensayo (g)		1351,3		1423,2		
MUESTRA		1	2			
Gradación empleada		2	2	Relacionar la tabla utilizada de la norma		
Pa: Masa muestra seca antes del ensayo (g)		1500,2	1500			
Pb: Masa muestra seca y después de lavado tamices No. 4 y No.16 después del ensayo (g)		1351,3	1325,3			
Índice de desgaste (%)		9,9	11,6			
ELABORO	HUGO ROMERO	REVISOR	FERNANDO VALERA	REVISOR	DAVID SANTOS	
CARGO	LABORATORISTA		SUPERVISOR		COORDINADOR DE C. DE CALIDAD	
FIRMAS						

Fuente: Consorcio Helios

3.3.9 Equivalente De Arena. Mediante este ensayo se precisó la proporción relativa del contenido de polvo nocivo o material arcilloso en una muestra de agregado, el cual delimitó con un valor mínimo admisible de finos y arcillas en el agregado. [16]

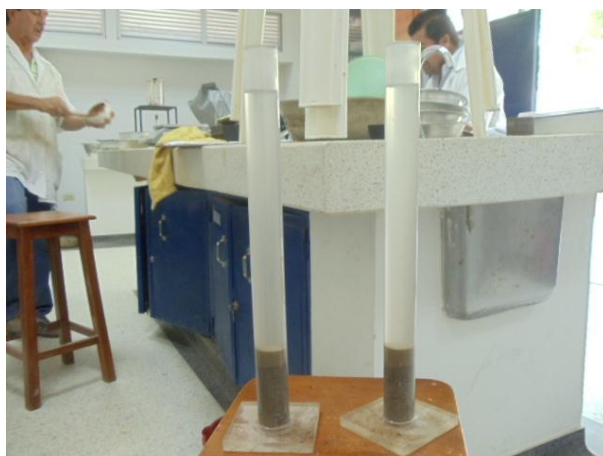
Figura 17. Procedimiento del ensayo equivalente de arena



Probetas llenas de material con la acción de la solución Stock.



Después de introducir la solución se deja por diez minutos hasta que el material se asiente, luego se coloca en el agitador (Método Agitador Mecánico)



Se observa la diferencia entre el material arenoso y arcilloso.

CALCULOS

Se observa en la siguiente tabla las tres lecturas del agregado fino que se ensayaron, para poder promediar el porcentaje de equivalente de arena, en el cual la especificación rige como parámetro el 50% como mínimo.

Tabla 15. Resultados obtenidos del ensayo equivalente de arena

ENSAYO No.	1		
Probeta No.	1	2	3
Lectura Arcilla (mm)	13,0	12,5	13,1
Lectura Arena(mm)	6,9	6,8	7,0
Equivalente de Arena (%)	53,1	54,4	53,4
ESPECIFICACIÓN MIN 50 PROMEDIO (%)	54		

Resultados: Cumplió con la especificación.

3.3.10 Solidez. Este método permitió conocer la solidez de los agregados en condiciones de meteorización (dentro de sus diferentes usos), el cual es una información muy útil cuando no se tenía registros del comportamiento del material expuestos a condiciones de meteorización. [17]

Figura 18. Procedimiento del ensayo de solidez de los agregados.



Fuente: Diseño de los autores (Lab UPB)

Muestra del material de agregado grueso.



Fuente: Diseño de los autores (Lab UPB)

Muestra del material de agregado fino.



Fuente: Diseño de los autores (Lab UPB)

Se observa el material de agregado grueso con la acción de la solución de sulfato de magnesio.



Fuente: Diseño de los autores (Lab UPB)

Muestra de material de agregado grueso con el efecto de la solución de sulfato de magnesio, después de estar sumergidas aproximadamente entre 16 – 18 horas por la solución, en el cual se colocaron en el horno a una temperatura de 110°C.

CALCULOS

En las siguientes tablas se observan el análisis de la fracción gruesa y fina con la acción de la solución sulfato de magnesio y sodio.

Tabla 16. Análisis del agregado grueso y agregado fino con la acción de la solución del sulfato de magnesio

ENSAYO DE SANIDAD FRENTE A LA ACCION DE LA SOLUCION DE SULFATO DE MAGNESIO							INV E-220/07	
FRACCIÓN GRUESA								
FRACCIÓN		Gradación Original (%)	Peso (G) Fracción Ensayada	Número de Partículas	Peso en (Grs) Retenido después de Ensayo	Pérdida Total (%)	Pérdida (%) Corregida	Número de Partículas
PASA	RETIENE							
50.8 mm	37.5 mm							
(2")	(1 1/2")							
37.5 mm	25.4 mm							
(1 1/2")	(1")							
25.4 mm	19 mm							
(1")	(3/4")							
19 mm	12.7 mm	21,21	1200,00	54,65	1099,70	8,36	1,77	35,65
(3/4")	(1/2")							
12.7 mm	9.51 mm	54,48	300,00	144,00	298,77	0,41	0,22	133,00
(1/2")	(3/8")							
9.51 mm	4.76 mm	22,88	300,00	0,00	165,79	44,74	10,24	0,00
(3/8")	(No. 4)							
TOTALES		98,57	1800,00	198,65	1564,26	53,51	12,23	168,65
FRACCIÓN FINA								
9.51 mm	4.76 mm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3/8")	(No. 4)							
4.76 mm	2.38 mm	14,80	100,00	0,00	77,80	22,20	3,29	0,00
(No. 4)	(No. 8)							
2.38 mm	1.19 mm	16,60	100,00	0,00	75,45	24,55	4,08	0,00
(No. 8)	(No. 16)							
1.19 mm	0.595 mm	12,90	100,00	0,00	68,77	31,23	4,03	0,00
(No. 16)	(No. 30)							

ENSAYO DE SANIDAD FRENTE A LA ACCION DE LA SOLUCION DE SULFATO DE MAGNESIO								INV E-220/07
0.595mm	0.297 mm	7,80	100,00	0,00	58,91	41,09	3,21	0,00
(No. 30)	(No. 50)							
TOTALES		52,10	400,00	0,00	280,93	119,07	14,59	0,00

ESPECIFICACION INVIAS 2007	18%MAX
----------------------------	--------

Tabla 17. Análisis del agregado grueso y agregado fino con la acción de la solución del sulfato de magnesio

ENSAYO DE SANIDAD FRENTE A LA ACCION DE LA SOLUCION DE SULFATO DE SODIO								INV
FRACCIÓN GRUESA								
FRACCIÓN		Gradación Original (%)	Peso (G) Fracción Ensayada	Número de Partículas	Peso en (Grs) Retenido después de Ensayo	Pérdida Total (%)	Pérdida (%) Corregida	Número de Partículas
PASA	PASA							
50.8 mm	37.5 mm							
(2")	(1 1/2")							
37.5 mm	25.4 mm							
(1 1/2")	(1")							
25.4 mm	19 mm							
(1")	(3/4")							
19 mm	12.7 mm	21,21	1200,00	54,65	1054,76	12,10	2,57	32,67
(3/4")	(1/2")							
12.7 mm	9.51 mm	54,48	300,00	144,00	286,50	4,50	2,45	125,67
(1/2")	(3/8")							
9.51 mm	4.76 mm	22,88	300,00	0,00	234,50	21,83	5,00	0,00
(3/8")	(No. 4)							
TOTALES		98,57	1800,00	198,65	1575,76	38,44	10,01	158,34
FRACCION FINA								
9.51 mm	4.76 mm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3/8")	(No. 4)							
4.76 mm	2.38 mm	21,45	100,00	0,00	90,54	9,46	2,03	0,00
(No. 4)	(No. 8)							
2.38 mm	1.19 mm	26,14	100,00	0,00	94,78	5,22	1,36	0,00
(No. 8)	(No. 16)							
1.19 mm	0.595 mm	25,66	100,00	0,00	94,32	5,68	1,46	0,00

ENSAYO DE SANIDAD FRENTE A LA ACCION DE LA SOLUCION DE SULFATO DE SODIO								INV
(No. 16)	(No. 30)							
0.595 mm	0.297 mm	20,22	100,00	0,00	92,87	7,13	1,44	0,00
(No. 30)	(No. 50)							
TOTALES		93,47	400,00	0,00	372,51	27,49	6,29	0,00

ESPECIFICACION INVIAS 2007	12%MAX
----------------------------	--------

En la tabla 16 del agregado grueso y fino con la acción de la solución del sulfato de sodio se cumplió con las especificaciones INVIAS 2007, donde el porcentaje de pérdida corregida es del 18%. En la fracción gruesa se obtuvo un porcentaje de 12,23 y en la fracción fina un porcentaje de 14,59. En la tabla 17 del agregado grueso y fino con la acción de la solución de sulfato de magnesio se cumplió con las especificaciones INVIAS 2007, donde el porcentaje de pérdida corregida es del 12%. En la fracción gruesa se obtuvo un porcentaje de 10,01 y en la fracción fina un porcentaje de 6,29.

3.3.11 Angularidad De Arena. Mediante este ensayo se logró conocer la angularidad del agregado fino, ya que la determinación del contenido de vacíos en una muestra de finos sin compactar y con una gradación conocida, da como resultado un indicador comparativo de la textura, esfericidad y angularidad de la muestra con otras muestras estándar.

Para ello se necesitó realizar tres (3) tipos de ensayo con un medidor cilíndrico, de los cuales dos (2) de ellos se hacen con agregados finos de gradación estándar y el otro ensayo con agregado fino de varias fracciones, el cual determinó el contenido de vacíos mediante el cálculo de las gravedades específicas de cada ensayo. [18]

Figura 19. Procedimiento del ensayo de angularidad de la arena



Fuente Consorcio Helios

Se introduce el material en el embudo y con el dedo se inhabilita el paso del material por la boquilla del embudo. Luego con la espátula se nivela el material dentro del embudo, para así poder tener una mejor caída libre al medidor cilíndrico.



Fuente Consorcio Helios

Se deja que la muestra caiga libremente sobre el medidor cilíndrico. Una vez el embudo quede vacío, se remueve el acceso de agregado fino del medidor cilíndrico con el paso de la espátula, se debe evitar cualquier tipo de vibración que pueda causar la compactación del material.

CALCULOS

En este formato se observa, los resultados obtenidos del ensayo de la angularidad en el agregado fino por medio del consorcio vial (HELIOS).

		ENSAYO DE ANGULARIDAD EN EL AGREGADO FINO CONTENIDO DE VACIOS DEL AGREGADO FINO NO COMPACTADO INV. E-239-07		CODIGO:	
				VERSIÓN:	
				FECHA:	
PROYECTO:				FECHA:	06/05/2012
CLIENTE:	UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA			MUESTRA:	
DESCRIPCIÓN:	AGREGADO FINO PARA MEZCLA ASFALTICA			FUENTE:	C. PESCADERO
No.	DETERMINACIÓN			1	2
1	Peso del cilindro (g)			282,3	282,3
2	Volumen del cilindro (cm³)			98,7	98,7
3	Peso de la muestra + cilindro (g)			426,1	422,7
4	Peso neto de la muestra (g)			143,8	140,4
5	Gravedad especifica de la muestra (g/cm³)			2,410	2,380
6	Angularidad del agregado fino (%)			39,5	40,2
	ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO (%)			39,9	
ELABORO	HUGO ROMERO	REVISO	FERNANDO VALERA	REVISO	DAVID SANTOS
CARGO	LABORTORISTA		SUPERVISOR		COORDINADOR DE C. DE CALIDAD
FIRMAS					

3.3.12 10% Finos. En base a este método se evaluó la resistencia mecánica del agregado grueso, siendo el parámetro de referencia la carga de compresión necesaria para producir un 10% de finos (tamiz N° 8). [19]

Figura 20. Procedimiento del ensayo 10% finos



Fuente Consorcio Helios

Tamiz de 1/2" y 3/8" más el fondo.



Fuente Consorcio Helios

Se tamiza el material por el tamiz de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ "



Fuente Consorcio Helios

Se pesa el molde



Fuente Consorcio Helios

El recipiente cilíndrico de medida deberá ser llenado con el material seleccionado, en tres capas sucesivas de una misma altura, aplicándole en cada capa 25 golpes con la varilla.



Fuente Consorcio Helios

Se introduce el pistón de carga para aplicar la compresión al agregado en el cilindro de ensayo, nivelando la superficie del material con este mismo.

CALCULOS

En este formato se observa, los resultados obtenidos del ensayo de la evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% finos por medio del consorcio vial (HELIOS).

			EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA POR EL MÉTODO DE 10 % DE FINOS INV E-224-07				Código: F-13-16
							Versión: 0
							Fecha: 15/12/2011
PROYECTO			CLIENTE	U. Pontificia Bolivariana - ASFALTAR S.A.		ATENCION	ING DAVID SANTOS
MUESTRA:	S20189	FUENTE:	C. PESCADERO	DESCRIPCIÓN:	GRAVILLA DE 3/4"	FECHA: 03/05/2012	
MUESTRA				SECO		HUMEDO	
Pa: Masa muestra compactada antes del ensayo (g)				2845		2925	
Penetración seleccionada (mm)				20		20	
x1 :Carga aplicada (N)				211		195	
Pb: Masa muestra retenida en el tamiz No. 8, después del ensayo (g)				2586		2645	
f1%				9,10		9,57	

		EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA POR EL MÉTODO DE 10 % DE FINOS INV E-224-07		Código: F-13-16
				Versión: 0
				Fecha: 15/12/2011
C10 (N)		225	201	
C10 (kN)		0,225	0,201	
RELACION HUMEDO / SECO (%)		89,2		
	ELABORO	REVISO	APROBO	
NOMBRE	HUGO ROMERO	TL. FERNANDO VALERA	ING. DAVID ALBERTO SANTOS MONTERO	
CARGO	LABORATORISTA	SUPERVISOR DE LABORATORIO	JEFE TÉCNICO Y CONTROL CALIDAD	
FIRMA				

3.3.13 Coeficiente de pulimentos asfaltados (cpa). Mediante este procedimiento se obtuvo una simulación de manera acelerada del efecto que experimenta el agregado en la capa de rodadura, por la acción del tránsito real de una vía.

De esta manera se evaluó la susceptibilidad del agregado ante el pulimento efectuado por la llanta de caucho macizo de la máquina de pulimento acelerado (CPA), a su vez con la ayuda del péndulo de fricción. [20]

Figura 21. Equipo del ensayo de CPA



Fuente: Consorcio Helios

CALCULOS

En las siguientes tablas a continuación se presentan los resultados obtenidos del ensayo de coeficiente de pulimentos asfaltados, en el cual se utilizó material retenido en 1/2" y 3/8".

Tabla 18. Material Retenido en 1/2" y 3/8"

PROBETA	PASADA	LECTURA	PROM/PROBETA	PROMEDIO
1	1	0,5	0,49	0,48
	2	0,5		
	3	0,49		
	4	0,49		
	5	0,48		
2	1	0,5	0,48	
	2	0,48		
	3	0,48		
	4	0,48		
	5	0,48		
3	1	0,5	0,48	
	2	0,48		
	3	0,48		
	4	0,48		
	5	0,47		
4	1	0,48	0,48	
	2	0,48		
	3	0,48		
	4	0,47		
	5	0,47		
1	1	0,49	0,48	0,48
	2	0,48		
	3	0,48		
	4	0,48		
	5	0,48		
2	1	0,48	0,48	
	2	0,48		
	3	0,48		
	4	0,48		
	5	0,48		
3	1	0,48	0,47	

PROBETA	PASADA	LECTURA	PROM/PROBETA	PROMEDIO
	2	0,48		
	3	0,48		
	4	0,46		
	5	0,46		
4	1	0,48	0,47	
	2	0,48		
	3	0,46		
	4	0,46		
	5	0,46		

Debido a que los agregados fueron facilitados por Asfaltar S.A, de la misma manera la empresa facilitó los siguientes ensayos de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Julio Garavito.

Coeficiente de Pulimento Asfaltado (CPA)= 0,48.

3.3.14 Concentración real en volumen. El presente ensayo permitió determinar la concentración crítica de llenante en la mezcla asfáltica, permitiendo un control de la fragilidad en la mezcla, ya que el valor de la concentración real del llenante, fue menor que la que se determinó por medio del ensayo. [21]

CALCULOS

En las siguientes tablas se observa los resultados de los dos ensayos que se requieren para el llenante mineral, en cual son; concentración crítica y el peso del llenante del tolueno.

Tabla 19. Resultados obtenidos del ensayo de la concentración critica del llenante mineral.

Concentración crítica del llenante mineral				
Lectura	Peso (g)	Volumen (cm3)	Gsb (g/cm3)	Cs
1	8,36	9	2,623	0,35
2	8,869	9,5		0,36
3	9,371	9,5		0,38
PROMEDIO				0,36

Tabla 20. Resultados obtenidos del ensayo de peso del llenante en tolueno.

Peso del llenante en tolueno				
Lectura	Peso (g)	Volumen (cm3)	Pb (g/cm3)	Pb (prom)
1	10,008	12	0,8	0,8
2	10	12		
3	10,009	12		

Cálculos tipo

$$Cs = \frac{Peso}{Volumen * Peso\ específico\ del\ llenante\ mineral}$$

Este resultado deberá ser mayor que la concentración real del volumen del llenante en la mezcla que se ha diseñado. ($Cs > Cv$)

$$Cv = \frac{Volumen\ de\ llenante\ de\ la\ mezcla}{Volumen\ del\ llenante\ de\ la\ mezcla * Volumen\ de\ asfalto\ en\ la\ mezcla}$$

$$Volumen\ del\ llenante = \frac{Peso\ llenante\ de\ diseño}{Peso\ específico\ del\ llenante}$$

$$Volumen\ del\ asfalto = \frac{Peso\ asfalto\ de\ diseño}{Peso\ específico\ del\ asfalto}$$

$$Volumen\ del\ asfalto = \frac{64,8}{1,009} = 64,22$$

$$Volumen\ del\ llenante = \frac{2,671}{2,623} = 1,02$$

$$Cv = \frac{1,02}{1,02 + 64,22} = 0,02$$

$Cs > Cv = 0,36 > 0,02$ CUMPLE

3.3.15 Contenido de impurezas. Se determinó por medio de la norma INV E-237-07 el porcentaje en masa de las partículas adheridas o mezcladas en la superficie de los agregados gruesos tanto de origen natural como artificial, el cual corresponde al coeficiente de limpieza superficial.[22]

Tabla 21. Datos obtenidos del ensayo de contenido de impurezas

Datos de Entrada		Pesos(grs)
M1h	Muestra destinada a secado	1264,6
Mh	Muestra destinada para el ensayo	1308,9
M1s	Muestra después de secar	1158,9
m	Muestra después de lavada y secada	1198,4
Is	Índice de Sequedad	0,92
Ms	Cantidad de masa seca	1204,19
I	Impurezas	5,79
Ce (%)	Coeficiente de limpieza superficial	0,48
Especificación INVIAS		0,5%MAX

3.4 ENSAYOS PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO

3.4.1 Penetración. Este ensayo permitió encontrar la consistencia del material asfáltico por medio de la penetración en décimas de milímetro de una aguja estandarizada y bajo una carga definida sobre el asfalto a evaluar. En base a la

penetración obtenida y con una diferencia entre cada valor igual a 1 unidad, se analizó los resultados obtenidos con lo requerido en las especificaciones INVIAS. [23]

Figura 22. Equipo del ensayo de penetración



Fuente: Consorcio Helios

CALCULOS

Se observa en la tabla, las dos muestras que se tomaron para ser ensayadas, en el cual se analiza la consistencia del material asfáltico.

Tabla 22. Muestras promedio de la penetración a que se somete el material

Muestra		
	1	2
Lectura	69	70
Lectura	70	70
Lectura	70	69
Promedio	70	70

Fuente: Asfaltar

Se realizaron dos muestras de material asfáltico y a cada una de ellas se le realizó dos lecturas, para después poder obtener un promedio de la consistencia del material asfáltico que se le realizó a dicho material, en el cual dio como resultado 70 decimas de milímetro.

3.4.2 Índice de penetración. En base al presente ensayo se determinó el punto de ablandamiento para el cual el asfalto presenta una consistencia de trabajabilidad, siendo un importante parámetro al momento de la colocación del asfalto en una vía; es importante aclarar que no todos los asfaltos presentan la misma susceptibilidad a la temperatura.[24]

3.4.3 Viscosidad 60°. Mediante el presente método se encontró la resistencia que aporta el asfalto a fluir al momento en que se aplicó temperatura, y su relación entre el esfuerzo cortante y la deformación por corte obtenida (viscosidad aparente). Estos resultados son de gran utilidad al momento de evaluar la manejabilidad de la mezcla. [25]

3.4.4 Curva reológica del asfalto. Se determinó las propiedades lineales visco elásticas del ligante asfáltico como requerimiento exigido por las especificaciones INVIAS y no para la caracterización de las propiedades visco elásticas del ligante, siendo el módulo complejo de corte un indicador de la rigidez a la deformación bajo carga que se aplica al ligante y con una temperatura semejante a la que estará sometida la vía. [26]

En la tabla siguiente se muestra las propiedades que contiene el asfalto por medio de la curva reológica, donde las comparamos con los parámetros máximos y mínimos de las especificaciones.

Tabla 23. Propiedades de la curva reológica del asfalto

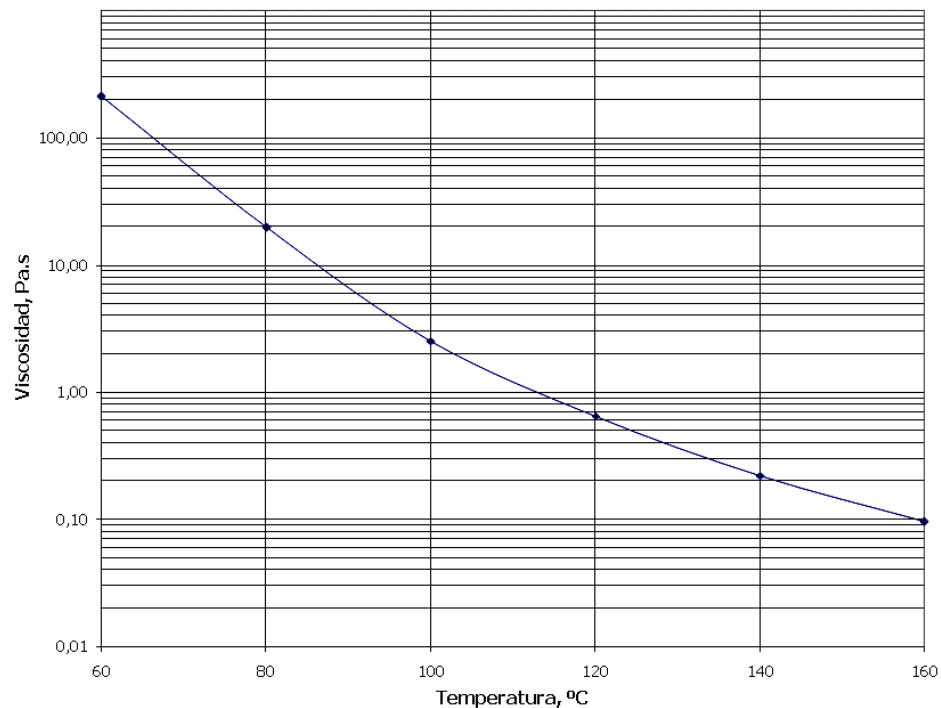
Propiedad	Valor	Especificación	
		Mín.	Máx.
Penetración a 25°C, 100g y 5s (0.1mm)	64,7	60	70
Punto de ablandamiento (°C)	48,6	-	-
Ductilidad a 25°C y 5cm/s (cm)	>100	100	-
Contenido de agua (% volumen)	0,00	-	0,2
Solubilidad en tricloroetileno (% peso)	99,95	99,0	-
Viscosidad dinámica a 60°C y 300mmHg (Poises)	2308,239	1500	-
Punto de ignición en copa abierta Cleveland (°C)	282	230	-
Pérdida de masa, RTFOT a 163°C y 85min (%peso)	0,648	-	1,0
Penetración a 25°C, 100g y 5s (0.1mm) al asfalto RTFO	38,7	-	-
Penetración residual (%)	60	52	-
Punto de ablandamiento, asfalto RTFO (°C)	55,9		

En la tabla 24 se muestra el análisis de la curva reologica analizándola en cuanto a la temperatura y a la viscosidad. Esto consiste en tomar una cantidad de temperaturas en unidad de grados centígrados con su respectiva viscosidad en unidad de pascales por segundo en el cual de ahí obtenemos la grafica de la curva reológica del asfalto

Tabla 24. Análisis de la curva reologica en cuanto a la temperatura y la viscosidad.

Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa.s)	r.p.m.	Torque (%)	Aguja
60	214,000	4,5	96,4	29
80	19,771	49,5	97,9	29
100	2,546	19,2	97,8	21
120	0,648	75,5	97,9	21
140	0,222	200,0	88,5	21
160	0,096	200,0	38,5	21

Figura 23. Curva reologica del asfalto



A continuación se muestran los resultados obtenidos en cuanto a las temperaturas de mezclado y compactación en laboratorio, donde las temperaturas óptimas de mezclado en laboratorio fueron más altas que las de compactación.

Tabla 25. Temperaturas óptimas de mezclado en laboratorio y la Compactación en el laboratorio

Temperatura	Valor (°C)
Mezcla	143-148
Compactación	134-138

La composición química del asfalto se divide en cuatro fracciones tales como: saturados que son líquidos incoloros, solubles en la mayoría de los solventes, aumentan la fluidez y pueden contener ceras que se transforman en fase con oxígeno, como segunda fracción están los asfaltenos que son las partículas bituminosas, tienen alta viscosidad y proveen elasticidad, resistencia y adhesión,

como tercera fracción están los máltenos que lo conforman las resinas donde proveen ductibilidad y son fluidas cuando se calientan y por ultimo están los aromáticos.

Tabla 26. Composición química del asfalto 60/70

Fracción (%)				IC
Saturados	Aromáticos	Resinas	Asfáltenos	
14,16±0,89	59,10±2,11	15,75±1,08	10,98±0,57	0,34

3.4.5 Peso específico. Se encontró la relación entre el peso y el volumen dado en el asfalto a 25°C, con el uso de un picnómetro calibrado; este procedimiento brinda un gran aporte al momento de corregir los volúmenes cuando la temperatura del ensayo difiere con la temperatura del presente ensayo. [26]

CALCULOS

Se observa en la siguiente tabla los datos obtenidos del peso específico del asfalto.

Tabla 27. Resultados del peso específico del asfalto

1	Peso masa aire	10,2
2	Peso masa agua	6,1
3	Peso asfalto aire	65,8
4	Peso masa + asfalto aire	76,0
5	Peso masa + asfalto agua	6,7
6	Volumen masa + asfalto	69,4
7	Volumen masa	4,1
8	Volumen asfalto	65,3
9	Peso específico asfalto	1,008

Fuente: Asfaltar

3.5 PRUEBAS AL CONCRETO ASFÁLTICO

3.5.1 Módulos dinámicos. Se realizó el presente ensayo para encontrar la recuperación presentada después de la deformación axial, siendo este el modulo que especifica las propiedades elásticas del asfalto con una serie de ensayos, donde cada uno describió una amplia frecuencia de temperaturas y cargas sinusoidales. [26]

3.5.2 Ley de fatiga. Este ensayo consiste en dos procedimientos, como primera medida se realizó el método de peso específico aparente y unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca donde nos permite determinar el peso aparente de las mezclas asfálticas, lo cual es útil para calcular el porcentaje de vacíos, la compactación y el peso unitario de mezclas asfálticas densas.

Ya por último se realizó el método de fatiga por flexión en elementos prismáticos, en donde se implementó el equipo NAT HYD – 25, que es donde nos caracteriza el comportamiento de mezclas bituminosas sometidas a carga de fatiga en un equipo de ensayo de flexión en cuatro puntos, en el que las mordazas interiores y exteriores están colocadas simétricamente, utilizando probetas prismáticas. La probeta prismática se somete a flexión periódica en cuatro puntos, con rotación y traslación (horizontal) libres en todos los puntos de carga y de reacción a estas. Se carga en las mordazas interiores en sentido vertical y perpendicular al eje de la viga.[27]

Figura 24. Equipo NAT (Nottingham Asphalt Tester).



Fuente: Equipo de Laboratorio Corasfaltos

Esta configuración de carga debe crear un momento constante, y por tanto una deformación constante entre las dos mordazas interiores, la carga debe ser sinusoidal. Durante el ensayo se mide la fuerza necesaria para la deformación de la probeta, las probetas pueden fabricarse en laboratorio o ser extraídas de placas cortadas en la vía con espesor no menor de 60mm. La longitud de cada probeta no debe ser menor de 390mm. Después las probetas se ensayan a tres niveles de deformación de tal manera que se pueda ver la influencia de la repetición de carga en la resistencia del material.

De acuerdo con los dos métodos realizados las probetas fueron ensayadas en el equipo de cuatro puntos. Las condiciones de ensayo son de 10Hz y con una temperatura de 20°C, el criterio de falla elegido es la reducción del valor del modulo inicial a la mitad, es decir, se considera que el material ha fallado cuando

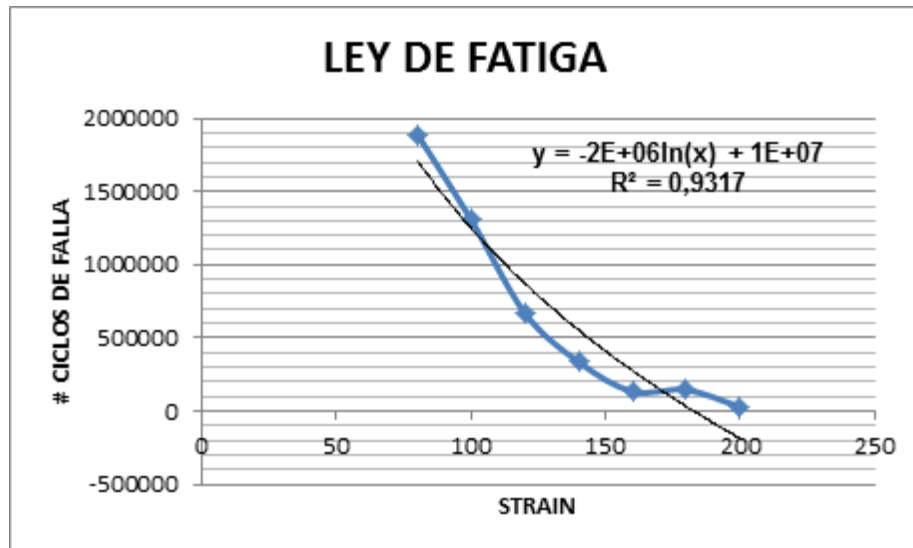
su resistencia inicial se reduce al 50%. El ensayo se realiza a deformación controlada por lo que se hizo la ley de fatiga a diferentes niveles de deformación.

Tabla 28. Resultados del ensayo de la ley de fatiga

Probeta	Strain (me)	Módulo inicial	% Reducción de la rigidez	# ciclos de falla
V4	80	4382	50	1890739
V5	100	4214		1306668
V3	120	4707		669676
V2	140	4349		335499
V38	160	5167		133657
V37	180	5186		145610
V40	200	4314		29697

De la tabla 28, se tomaron los siguientes datos correspondientes a la deformación y el número de ciclos de falla para poder obtener la ecuación de la ley de fatiga.

Figura 25. Relación del número de ciclos de falla y deformación.



De la figura 25 salió la ecuación de la ley de fatiga:

$$\ln(\epsilon_i) = A_1 \ln(N_{i,j,k}) + A_0$$

Donde:

$Y = \epsilon = \text{Strain } (\mu\epsilon)$

$X = N_{i,j,k} = \text{Numero de ciclos de falla}$

$j = \text{criterio de falla} \rightarrow 50\%$

$k = \text{condiciones de ensayo} = 10 \text{ Hz y } 20^\circ\text{C}$

La deformación inicial estimada para el criterio de falla escogido es de $105 \mu\epsilon$, en ella se puede esperar una vida hasta la fatiga de 10^6 pulsos de carga para el conjunto de condiciones de ensayo.

DOCUMENTO SUMINISTRADO POR ASFALTAR S.A.

3.5.3 Inmersión – compresión. Se halló el indicador a la susceptibilidad en mezclas asfálticas ante la presencia de humedad, midiendo así la resistencia a la compresión de probetas recién moldeadas y curadas, probetas inmersas en agua bajo las condiciones previstas por la norma INVIAS. [20]

3.5.4 Gmm Rice. Se determinó el valor de la gravedad específica teórica máxima para muestras sin compactar a 25°C , los cuales son factores esenciales para determinar diferentes parámetros, como el porcentaje de vacíos, la cantidad de asfalto absorbido por los poros internos de los agregados en la mezcla de asfalto y características que ayudan a una mejor compactación de la mezcla.

Figura 26. Procedimiento del ensayo Gmm Rice



Fuente: Laboratorios Asfaltar

Se enfría la muestra hasta la temperatura ambiente



Fuente: Laboratorios Asfaltar

Se coloca la muestra dentro del recipiente inmediatamente se pesa y se determinan la masa neta. Luego se le adiciona suficiente agua con el fin de que la muestra quede totalmente cubierta.



Fuente: Laboratorios Asfaltar

Se debe remover el aire atrapado en la muestra aplicando incrementos graduales de vacío hasta que la presión residual del manómetro indique $3.7 \pm 0.3 \text{ kPa}$. Esta presión se debe mantener por un periodo de 15 minutos.



Fuente: Laboratorios Asfaltar

Durante el periodo de aplicación de vacío el recipiente se debe agitar continuamente ya sea utilizando un dispositivo mecánico o manualmente agitando vigorosamente a intervalos de 2 minutos.

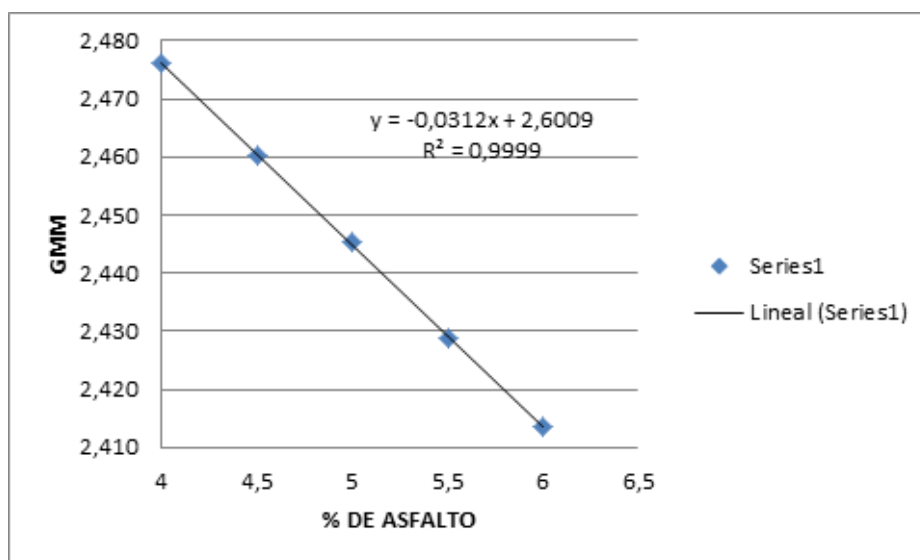
CALCULOS

En las siguientes tablas se presentan todos los cálculos obtenidos por medio de este ensayo, donde a medida que va aumentando el porcentaje de asfalto va disminuyendo el Gmm Rice.

Tabla 29. Resultados obtenidos por medio del ensayo Gmm Rice

% ASFALTO	4	4,5	5	5,5	6
Frasco No.	1	1	1	1	1
A	1343,8	1355,8	1389,6	1345,6	1322
D	7390,5	7390,5	7390,5	7390,5	7390,5
E	8191,6	8195,2	8211,8	8182,1	8164,8
T	25	25	25	25	25
Gmm	2,476	2,460	2,445	2,429	2,414
A: PESO DE LA MUESTRA SECA EN EL AIRE, gr					
D: PESO FRASCO + AGUA A LA TEMPERATURA T (°C) gr					
E: PESO FRASCO + AGUA + MUESTRA A LA TEMPERATURA T (°C), gr					
T: TEMPERATURA DEL AGUA EN E (°C)					
Gmm =	A				
	A·(E-D)				

Figura 27. Grafica representativa del % de asfalto con el Gmm Rice



3.5.5 Deformación Permanente. El ensayo de deformación permanente consiste en determinar la resistencia al ahuellamiento debida a la aplicación de cargas de tránsito, las cuales se simulan por medio del equipo NAT controlando las condiciones de ensayo.

Las briquetas se miden, y acondicionan a una temperatura de 40°C, durante un tiempo no inferior a 2 horas, al cabo de las cuales se procede a montar cada una de ellas en el marco de ensayo, donde se realiza la prueba bajo las siguientes condiciones: Esfuerzo aplicado de 100 kPa, 3600 ciclos de aplicación a la carga y Temperatura 40°C. Esta prueba es útil para identificar el potencial de ahuellamiento de una mezcla asfáltica, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

La mezcla no será ahuellable si al cabo de los 3600 ciclos de carga el porcentaje de deformación axial en los especímenes es menor al 1%.

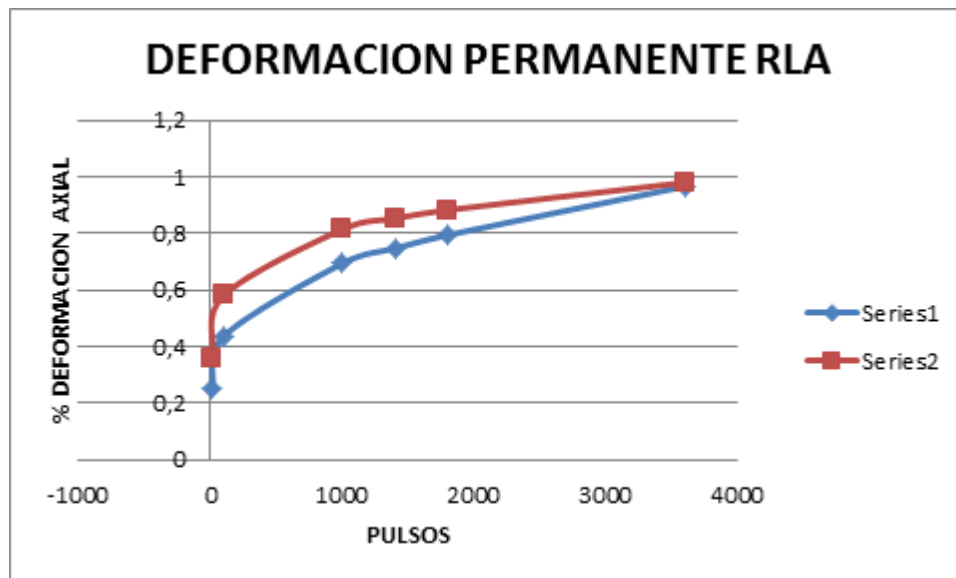
La mezcla no podrá ser ahuellable si esta deformación axial se encuentra entre el 1% y el 2%. La mezcla no cumple por ahuellamiento cuando esta deformación supera el 2%.[28]

Tabla 30. Resultados obtenidos de la deformación permanente

ESPECIMEN	1	2
Altura(mm)	61,7	61,8
Diámetro (mm)	101,7	101,7
Densidad Aparente BULK	2,382	2,386
Temperatura de ensayo (Celsius)	40	40
Esfuerzo de ensayo(100kPa)	100	100
Duración del ensayo (pulsos)	3600	3600
Esfuerzo de acondicionamiento (kPa)	10	10
Periodo de acondicionamiento (seg)	120	120
Deformación axial después de acondicionamiento,%	0,2273	0,1263
Deformación axial después de 10 pulsos,%	0,25	0,3585
Deformación axial después de 100 pulsos,%	0,438	0,5819

ESPECIMEN	1	2
Deformación axial después de 1000 pulsos,%	0,6945	0,8149
Deformación axial después de 1400 pulsos,%	0,7475	0,8532
Deformación axial después de 1800 pulsos,%	0,7945	0,8827
Deformación axial después de 3600 pulsos,%	0,9666	0,9799
Promedio de deformación, %	0,9733	

Figura 28. Deformación permanente



Estos resultados fueron suministrados por asfaltar.

4. MÉTODO SUPERPAVE NIVEL 1.

Este nuevo método es un sistema de especificaciones para los materiales asfálticos que determinan las características necesarias presentes en los asfaltos y agregados que permitan cumplir con los requerimientos en cuanto a sus propiedades reológicas, temperaturas extremas y diversos desgastes producidos durante la vida útil del asfalto. El principal objetivo de este método es mejorar el comportamiento de los asfaltos ante diversos factores que contribuyan a deformaciones permanentes, agrietamiento por fatiga y agrietamiento producidos por el clima. Para ello Superpave aporta nuevas especificaciones tanto para asfaltos como para agregados, así mismo nuevos métodos de diseño de mezclas asfálticas y modelos de predicción del comportamiento del asfalto. De la misma manera, permite estimar el número de ejes equivalentes necesarios para producir un desplazamiento considerable ó grietas por fatiga.

El método Superpave está dado por tres (3) niveles, debido a que el diseño y el análisis del mismo dependen del tránsito y la función de la mezcla en el asfalto. La tabla presenta los distintos niveles considerados por la metodología Superpave. [29]

Tabla 31. Metodología Superpave

Transito, ESALs	Niveles de Diseño	Requerimientos de Ensayo
ESALs ≤ 106	1	Diseño volumétrico
106 < ESALs ≤ 107	2	Diseño volumétrico+ ensayos de predicción de la performance
ESALs > 107	3	Diseño volumétrico+ aumentos de los ensayos de predicción de la performance

Primer nivel de análisis. Este nivel toma en cuenta la estimación de las propiedades volumétricas de la mezcla como: contenido de vacíos de la mezcla (V_a), vacíos llenos de asfalto (VFA) y vacíos en el agregado (VMA), por ello este nivel considera cuatro aspectos fundamentales: selección del tipo de asfalto,

Selección de las propiedades de los agregados, Preparación de especímenes de ensayo, Selección del contenido de asfalto.

Nivel Intermedio. Este nivel parte de los análisis volumétricos del nivel anterior y para su análisis usa dos (2) ensayos, el ensayo de corte (SST, SUPERPAVE shear test por sus siglas en inglés) y el ensayo de tensión indirecta (IDT, indirect tensile test); estos ensayos permiten predecir el comportamiento de la mezcla.

Nivel avanzado. Es un nivel que ofrece una mayor confiabilidad al momento de predecir el comportamiento del asfalto, ya que este toma los análisis hechos en los niveles anteriores y los complementa con pruebas adicionales como el IDT y SST, donde éste último ensayo es realizado con una amplia gama de temperaturas.[29]

4.1 SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

4.1.1 Propiedades de consenso. Son consideradas críticas para alcanzar un alto comportamiento de la mezcla. Se asocian a la calidad del agregado para producir una mezcla resistente y durable. Las propiedades de consenso (características de los agregados que pueden ser alteradas en las plantas de trituración y selección) son:

- Angularidad del agregado grueso
- Angularidad del agregado fino
- Partículas planas y alargadas
- Contenido de arcilla (equivalente de arena)

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS O ANGULARIDAD DEL AGREGADO GRUESO

Esta propiedad asegura un alto grado de fricción interna del agregado y resistencia al ahuellamiento. Se define como el porcentaje en peso del agregado mayor de 4.75mm con una o más caras fracturadas.

Tabla 32. Porcentaje de las caras fracturadas.

CRITERIO DE FRACTURA	MASA TOTAL (g)	TAMIZ DE RETENCIÓN	% CARAS FRACTURADAS PARCIAL	% CARAS FRACTURADAS
Una o más caras	489,2	#4	100	100
Dos o más caras	489,2	#4	100	100

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO.

Esta propiedad asegura un alto grado de la fricción interna del agregado fino y de la resistencia al ahuellamiento. Se define como el porcentaje de vacíos de aire presente en los agregados, menores de 2.36mm, levemente compactados. Contenidos de vacíos mayores significan más caras fracturadas.

Tabla 33. Promedio del porcentaje de fino en agregado sin compactar.

MASA DE ARENA, g	VOL. CILINDRO, cm3	P.E. DE FINOS	% FINOS EN AGREGADO SIN COMPACTAR, %U
141,0	103.1	2,574	46,9
140,8			46,9
141,2			46,8
%Us, VACIOS EN AGREGADO FINO SIN COMPACTAR			46,9

EQUIVALENTE DE ARENA O CONTENIDO DE ARCILLA.

Es el porcentaje de material arcilloso presente en la fracción de agregado menor de 4.75mm.

Tabla 34. Porcentaje equivalente de Arena

Probeta	Lectura de Arcilla	Lectura de Arena	% Equivalente de arena
1	266	145	54
2	256	141	55
3	272	147	54
PROMEDIO			55

4.1.2 Propiedades de origen. Son aquellas propiedades asociadas a la calidad de la fuente del agregado. Si bien SHRP no especifica valores críticos, estas propiedades deben ser especificadas de acuerdo a la apariencia local. Las propiedades de origen, las cuales dependen del lugar de obtención de los áridos, son:

- Tenacidad o dureza
- Durabilidad
- Materiales deletéreos

RESISTENCIA AL DESGASTE MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.

Este ensayo estima la resistencia del agregado grueso a la abrasión y degradación mecánica durante el manipuleo, construcción y servicio. Se realiza sometiendo al agregado grueso, usualmente mayor de 2.36mm, a impacto y triturado por medio de esferas de acero.

Las condiciones del ensayo fueron las siguientes:

Gradación B: 5000 ± 10 g de material pasa ¾" y se retiene en 3/8"
 N ° de esferas: 11
 N° de vueltas: 500

Velocidad: 30 a 33 RPM

Tabla 35. Datos obtenidos

Peso inicial, g	Peso final, g	Desgaste, %
5000	3912	22

SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO O DURABILIDAD.

Es el porcentaje de pérdida del material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de 10 a 20% para 5 ciclos.

Tabla 36. Resultados del agregado frente a las soluciones de sulfato de sodio y magnesio.

Tamices usados para la selección de la muestra (Pulg)		Peso Inicial (g)	(G) Retenida gradación original (%)	Tamices para el lavado de la muestra al final del ensayo (pulg.)	Peso final (g)	(F) Pérdida (%)	(G) x (F)
PASA	RETENIDO						
3/8"	N°4	295,7	28	N°5	291,5	1,420	0,398
N°4	N°8	99,8	15	N°8	90,3	9,519	1.428
N°8	N°16	99,7	13	N°16	80,8	18,957	2,464
N°16	N°30	99,8	6	N°30	72,6	27,255	1,635
N°30	N°50	99,9	10	N°50	84,5	15,415	1,542
TOTAL			0,72	TOTAL			7,5

$$\text{Pérdida} = \sum G_i \cdot F_i / \sum G_i$$

La pérdida ante la acción de los sulfatos después de 5 ciclos es de 10,4 %.

No hay materiales deletéreos en la muestra de material combinado. 0 %.

4.2 ENSAYOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS.

4.2.1 Granulometría. Para especificar la granulometría del agregado por el método Superpave, tiene un concepto adicional que se emplean: puntos de control. Los puntos de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. Corresponden al tamaño máximo nominal, un tamaño intermedio (2.36mm) y un tamaño de polvo (0.075mm).[29]

Tabla 37. Gradación MDC-2, según INVIAS

Tamiz	Abertura (mm)	% pasa	Especificación		Tamiz 0.45
3/4	19,000	100	100	100	3,76
1/2	12,500	90,00	80	100	3,12
3/8	9,500	79,00	70	88	2,75
Nº4	4,750	57,00	49	65	2,02
Nº10	2,000	37,00	29	45	1,37
Nº40	0,425	19,50	14	25	0,68
Nº80	0,180	12,50	8	17	0,46
Nº200	0,075	6,00	4	8	0,31

P1 =	2000,0	P2=	1910,6
Tamiz	Peso retenido	% Retenido	% Pasa
1 1/2"	0,00	0,00	100,00
1"	0,00	0,00	100,00
3/4"	0,00	0,00	99,95
1/2"	242,00	12,10	90,35
3/8"	221,10	11,06	72,29
No. 4	375,50	18,78	57,47
10	302,30	15,12	42,42
40	393,40	19,67	22,98
80	232,40	11,62	13,67
200	138,60	6,93	5,63

Figura 29. Curva granulométrica de los agregados

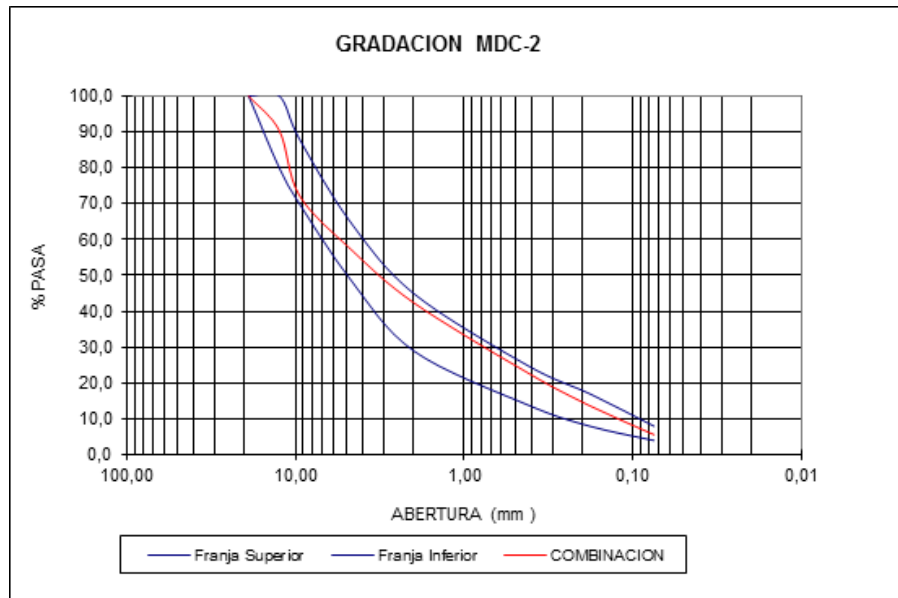
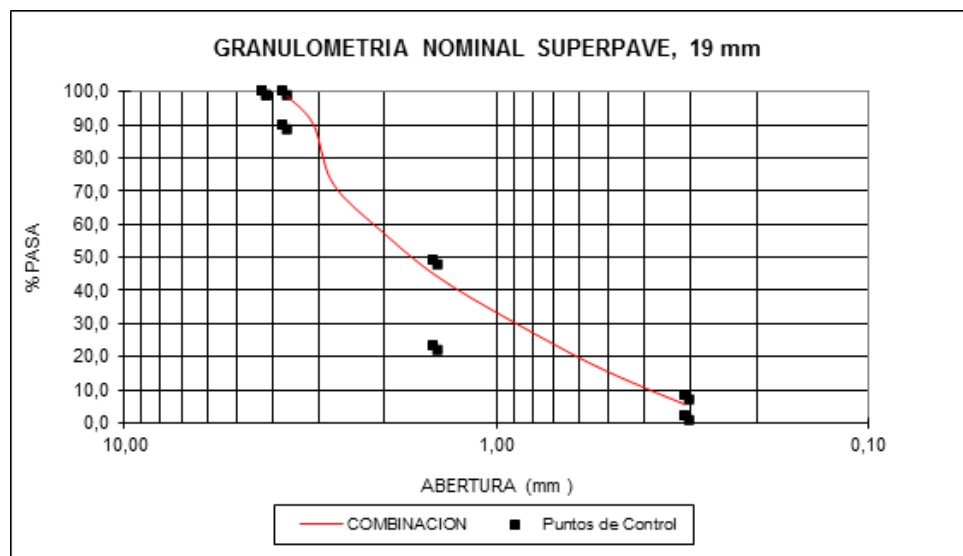


Tabla 38. Puntos de control

Tamiz	Abertura (mm)	A	Mínimo %	Máximo %
1"	25,000	4,257	100	100
3/4"	19,000	3,762	90	100
N°8	2,360	1,472	23	49
N°200	0,075	0,312	2	8

Figura 30. Curva granulométrica por el método Superpave



4.2.2 Gravedad específica de los agregados minerales. La gravedad específica es la relación entre el peso de un dado volumen de una sustancia y el peso de igual volumen de agua, ambos a la misma temperatura.

GRAVEDAD ESPECÍFICA BRUTA DEL AGREGADO

$$Gsb = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen Bruto}}$$

Volumen bruto = Volumen solido + Volumen del poro permeable al agua.

GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE DEL AGREGADO

En el caso del agregado mineral, se calculan usualmente la gravedad específica bruta, la efectiva y la aparente. La gravedad específica bruta se determina midiendo el peso seco y el volumen bruto de una muestra de agregados. El volumen bruto incluye el volumen del solido del agregado más el volumen de agua contenida en los poros superficiales. El volumen bruto se mide para la condición del agregado saturado a superficie seca.

La gravedad específica aparente se determina midiendo el peso seco y el volumen aparente de la muestra del agregado. El volumen aparente solo incluye el volumen del solido del agregado y no incluye el volumen de los poros de la superficie.[29]

$$Gsa = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen Aparente}}$$

Volumen aparente = volumen de partículas de agregado solido

El volumen aparente no incluye el volumen de poros de superficie.

GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DEL AGREGADO

La gravedad específica efectiva se mide sobre la mezcla asfáltica, cuyo contenido de asfalto es conocido. Las gravedades específicas brutas y aparente, se calcula usando el peso seco y el volumen efectivo del agregado. El volumen efectivo del agregado incluye el volumen de los sólidos del agregado y el volumen de los poros de superficie llenos con agua pero no con asfalto.[29]

$$G_{se} = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen efectivo}}$$

Volumen efectivo = volumen de partículas de agregado sólido + volumen de poros permeables al agua no llenos con asfalto.

CALCULOS

AGREGADO GRUESO

De los resultados obtenido mediante el ensayo de peso específico para agregados grueso, se calculo el peso específico aparente, el peso específico aparente SSS, y el peso específico nominal, para después dar como resultado el porcentaje de absorción del agregado.

Tabla 39. Peso específico de los agregados gruesos

Peso Especifico Agregado Grueso Retenido #4					
Peso Material (gr)	Peso en agua (gr)	Peso SSS (gr)	Gsb Bulk grueso	GS aparente	Absorción (%)
2997,5	1881,4	3021,1	2,630	2,686	0,787

Gravedad especifica bruta bulk del agregado grueso

$$G_{sb} = \frac{\text{Peso Material}}{\text{Peso SSS} - \text{Peso en Agua}}$$

Gravedad especifica aparente del agregado grueso

$$G_{sa} = \frac{\text{Peso material}}{\text{Peso material} - \text{Peso en Agua}}$$

Absorción (%)

$$\% = \frac{\text{Peso SSS} - \text{Peso Material}}{\text{Peso Material}} * 100$$

AGREGADO FINO

De los resultados obtenidos mediante el ensayo de peso específico para agregados finos, se calculo el peso específico aparente, el peso específico aparente SSS, y el peso específico nominal, para después dar como resultado el porcentaje de absorción del agregado.

Tabla 40. Peso específico de la arena

Peso Especifico Arena (Pasa #4 - Retenido # 200)						
Peso Material (gr)	W Matraz + arena + H2O (gr)	W Matraz + H2O (gr)	Peso SSS (gr)	Gsb Bulk arena	Gs aparente arena	Absorción (%)
492,8	2428,0	2118,5	500,0	2,588	2,689	1,461

Gravedad especifica Bulk del agregado fino

$$G_{sb} = \frac{\text{Peso material}}{W \text{ Matraz con agua} + \text{Peso SSS} - W \text{ Matraz con arena y agua}}$$

Gravedad específica aparente del agregado fino

$$G_{sa} = \frac{\text{Peso material}}{W \text{ Matraz con agua} + \text{Peso material} - W \text{ Matraz con arena y agua}}$$

Absorción (%)

$$\% = \frac{\text{Peso SSS} - \text{Peso Material}}{\text{Peso Material}} * 100$$

Tabla 41. Peso específico del Filler

Peso Especifico Filler (Pasa #200)				
Peso Material (gr)	W Matraz + filler + H2O (gr)	W Matraz + H2O (gr)	Gsb (gr/cm3)	Absorción
224,6	2259,0	2118,5	2,671	-

Gravedad específica

$$G_{sb} = \frac{\text{Peso Material}}{\text{Peso Material} + W. \text{ Matraz con agua} - W. \text{ Matraz con agua y filler}}$$

4.3 COMPACTACIÓN GIRATORIA SUPERPAVE

En la selección de un método de compactación de laboratorio, los investigadores SHRP se plantearon varias metas. La más importante fue diseñar un equipo que pudiera compactar en forma realista los especímenes de mezcla a la densidad alcanzada bajo las condiciones de clima y carga del pavimento. Se necesitaba un

dispositivo capaz de compactar mezclas con grandes agregados. Además, se deseaba que brindara una medida de la compactibilidad de modo de poder identificar el comportamiento de una potencial mezcla blanda y otros similares problemas de compactación. Consecuentemente, un nuevo compactador fue desarrollado, el Compactador Giratorio Superpave (SGC = Superpave Gyratory Compactor).

Figura 31. Equipo Compactador Giratorio Superpave



Fuente: Equipo de Laboratorio Corasfaltos

La base de SGC fue el compactador giratorio de Texas modificado para aplicar los principios de compactación del compactador giratorio francés. El dispositivo Texas cumplió los objetivos de densificaciones realista de los especímenes y era razonablemente portable. Los moldes de 6 pulgadas de diámetro pudieron acomodar mezclas con agregados de un tamaño máximo de hasta 50mm (37.5 nominal). Los investigadores de SHRP modificaron el dispositivo Texas reduciendo el ángulo y la velocidad de giro y adicionando un registro de tiempo real de la altura. [29]

4.3.1 Preparación del espécimen. Para la compactación de los especímenes se requiere compactar y mezclar los materiales bajo condiciones de temperaturas de viscosidad equivalente correspondientes a 0.170 Pa.s y 0.280 Pa.s, respectivamente. El mezclado se efectúa por medio de una mezcladora mecánica. Tras el mezclado, el material es sometido a 4 horas de envejecimiento a corto plazo en un horno de corriente forzada, manteniendo a una temperatura de 135°C.

Durante el envejecimiento a corto plazo, la mezcla suelta debe desparramarse en un espesor tal que resulte de 21 a 22kilgramos por metro cúbico y debe ser revuelto cada hora para asegurar un envejecimiento uniforme. Los moldes de compactación y los platos de base debieran también colocarse en el horno a 135°C, por lo menos entre 30 y 45 minutos antes de su uso.[29]

4.3.2 Procedimiento global. Tras el envejecimiento a corto plazo, la mezcla suelta esta lista para ser compactada. Con la llave principal encendemos el compactador. La presión vertical deberá ser de 600kPa (± 18 kPa). Con el contador fijamos el número de giros, en el cual existen tres; el número de giros de diseño, el número inicial de giros y por último el máximo número de giros.[29]

Los especímenes de ensayo son compactados usando el N. máximo de giros. La relación entre N diseño, el N. máximo y el N inicial son:

$$\text{Log } 10 \text{ N. máximo} = 1.10 * \text{Log N. diseño}$$

$$\text{Log } 10 \text{ N. inicial} = 0.45 * \text{Log N. diseño}$$

Tabla 42. Numero de giros dependiendo del promedio de la máxima temperatura

	PROMEDIO DE LA MAXIMA TEMPERATURA DEL AIRE PARA EL PROYECTO											
ESALs de diseño (en millones)	< 39°C			39 - 40°C			41 - 42°C			43 - 44°C		
	Nini	Ndis	Nmax	Nini	Ndis	Nmax	Nini	Ndis	Nmax	Nini	Ndis	Nmax
<0,3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
0,3-1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
1-3,0	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
3,0-10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
10,0 - 30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220
30-100	9	126	204	9	139	228	9	146	240	10	153	253
>100	9	142	233	10	158	262	10	165	275	10	172	288

Fuente: Manual Superpave

El número de giros de diseño tiene un rango de 68 a 172 y es función del clima en el cual la mezcla se extenderá y el nivel del tránsito. La temperatura promedio del aire para diseño es provista por el software del Superpave y representa el promedio de los 7 días sucesivos de máxima temperatura del aire para las condiciones de proyecto. El rango de valores para N. diseño, el N. máximo y el N. inicial.

Colocado el plato de base en su lugar, se pone un disco de papel en la parte superior del plato y el molde es cargado en un solo movimiento. La cima del espécimen debería estar ligeramente redondeada. Un disco de papel es ubicado sobre la parte superior de la mezcla. El molde es ubicado en el compactador y centrado bajo el pistón. El pistón se baja hasta la mezcla; la presión es de 600kPa (± 18 kPa). El molde se inclina hasta alcanzar el ángulo de giro ($1.25^\circ \pm 0.02^\circ$) y la compactación comienza.

El compactador se detiene automáticamente al alcanzarse el N. máximo. Luego de que la presión y el ángulo vuelven a cero, el molde conteniendo el espécimen compactado es extraído. Después de un adecuado periodo de enfriamiento, el

espécimen es desmoldado. La gravedad específica bruta de los especímenes debe medirse usando la norma AASHTO T166. La gravedad específica teórica máxima debe medirse usando la norma AASSTHO T209. [29]

4.3.3 Análisis de resultados

4.3.3.1 Mezcla de prueba. Los datos del compactador giratorio de Superpave deberán ser analizados calculando la gravedad específica bruta estimada, la gravedad específica corregida, y el porcentaje de la gravedad específica teórica máxima para cada giro deseado.

El siguiente paso, es evaluar las mezclas de prueba mediante la compactación de especímenes y la determinación de las propiedades volumétricas de cada una de ellas. Para cada mezcla, un mínimo de 2 especímenes se compactara con el SGC. El contenido de ligante asfáltico de prueba se determina para cada mezcla de prueba estimando el peso específico efectivo de la mezcla.

$$G_{se} = G_{sb} + 0,8(G_{sa} - G_{sb})$$

El factor 0.8 puede ser ajustado a discreción del diseñador. Los agregados absorbentes pueden requerir valores cercanos a 0.6 o 0.5.

Tabla 43. Gravedades específicas

Gsb	Gsa	Gse	Gb 60/70
2,610	2,687	2,664	1,009

El volumen del ligante asfáltico (Vba) absorbido en el agregado se estima con:

$$V_{ba} = \frac{P_s(1 - V_a)}{\left(\frac{P_b}{G_b} + \frac{P_s}{G_{se}}\right)} * \left(\frac{1}{G_{sb}} - \frac{1}{G_{se}}\right)$$

$$P_{bi} = \frac{G_b(V_{be} + V_{ba})}{G_b(V_{be} + V_{ba}) + W_s} * 100$$

Donde

V_{ba} = es el volumen absorbido del ligante, cm^3/cm^3 de mezcla.

P_b = es el porcentaje de ligante (se ha supuesto 5%)

P_s = es el porcentaje de agregado (se ha supuesto 95%)

G_b = gravedad específica del ligante.

V_a = es el volumen de vacíos de aire (se fijó un valor de $0.04 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$)

Tabla 44. Datos iniciales para la realización del diseño de la mezcla asfáltica de prueba

P_b =	5,00%
P_s =	95,00%
$V_a (\text{cm}^3/\text{cm}^3)$ =	0,04
$V_{ba} (\text{cm}^3/\text{cm}^3)$ =	0,017

El volumen del ligante efectivo (V_{be}) puede determinarse a partir de la ecuación:

$$V_{be} = 0,081n \text{ del li} * [\ln(S_n)]$$

Donde:

S_n = es el tamaño del tamiz máximo nominal de la mezcla de los agregados (en pulgadas).

Vbe	0,089	cm ³ /cm ³
-----	-------	----------------------------------

Finalmente, el contenido de prueba inicial del ligante asfáltico se calcula con:

$$P_{bi} = \frac{G_b(V_{be} + V_{ba})}{G_b(V_{be} + V_{ba}) + W_s} * 100$$

Donde:

P_{bi} = es el porcentaje del ligante (en peso de la mezcla)

W_s = es el peso del agregado en gramos.

$$W_s = \frac{P_s(1 - V_s)}{\left(\frac{P_b}{G_b} + \frac{P_s}{G_{se}}\right)}$$

Ws	2,245
Pbi	4,58%
Gmm teórico	2,477687646

Las condiciones de proyecto para esta mezcla son:

Numero de ejes equivalentes entre 10 y 30 millones

Ninicial	Ndiseño	Nmáx
8	100	160

Tabla 45. Resultados obtenidos de las tres pruebas de mezclas dando como resultado el porcentaje de Gmm promedio

Gmm	2,4780	4613	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4780	4622	Mezcla de Prueba 2		Gmm	2,4780	4606	Mezcla de Prueba 3		%
No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	Gmm Prom
0	132,5	1,970	2,000	80,70%	0	132,7	1,971	1,989	80,28%	0	128,7	2,032	2,048	82,63%	81,21%
1	127,8	2,043	2,073	83,67%	1	128,2	2,040	2,059	83,10%	1	126,5	2,068	2,083	84,07%	83,61%
2	125,6	2,078	2,110	85,14%	2	126,1	2,074	2,093	84,48%	2	124,8	2,096	2,112	85,21%	84,94%
4	123,0	2,122	2,154	86,94%	4	123,6	2,116	2,136	86,19%	4	122,7	2,132	2,148	86,67%	86,60%
8	120,3	2,170	2,203	88,89%	8	121,0	2,162	2,182	88,04%	8	120,2	2,176	2,192	88,48%	88,47%
10	119,5	2,184	2,217	89,48%	10	120,1	2,178	2,198	88,70%	10	119,4	2,191	2,207	89,07%	89,08%
20	117,0	2,231	2,265	91,39%	20	117,6	2,224	2,245	90,59%	20	117,0	2,235	2,252	90,90%	90,96%
30	115,6	2,258	2,292	92,50%	30	116,3	2,249	2,270	91,60%	30	115,6	2,263	2,280	92,00%	92,03%
40	114,7	2,276	2,310	93,23%	40	115,4	2,266	2,288	92,32%	40	114,7	2,280	2,298	92,72%	92,75%
50	114,0	2,290	2,324	93,80%	50	114,8	2,278	2,300	92,80%	50	114,1	2,292	2,310	93,21%	93,27%
60	113,5	2,300	2,335	94,21%	60	114,2	2,290	2,312	93,29%	60	113,6	2,302	2,320	93,62%	93,70%
70	113,1	2,308	2,343	94,54%	70	113,8	2,298	2,320	93,61%	70	113,1	2,313	2,330	94,03%	94,06%
80	112,7	2,316	2,351	94,88%	80	113,5	2,304	2,326	93,86%	80	112,8	2,319	2,336	94,28%	94,34%
90	112,4	2,322	2,357	95,13%	90	113,2	2,311	2,332	94,11%	90	112,5	2,325	2,342	94,53%	94,59%
100	112,2	2,327	2,362	95,30%	100	112,9	2,317	2,338	94,36%	100	112,2	2,331	2,349	94,78%	94,82%
110	111,9	2,333	2,368	95,56%	110	112,7	2,321	2,342	94,53%	110	112,0	2,335	2,353	94,95%	95,01%
120	111,7	2,337	2,372	95,73%	120	112,4	2,327	2,349	94,78%	120	111,8	2,339	2,357	95,12%	95,21%
130	111,5	2,341	2,376	95,90%	130	112,3	2,329	2,351	94,86%	130	111,6	2,344	2,361	95,29%	95,35%
140	111,4	2,343	2,379	95,99%	140	112,1	2,333	2,355	95,03%	140	111,4	2,348	2,366	95,46%	95,50%
150	111,2	2,348	2,383	96,16%	150	111,9	2,337	2,359	95,20%	150	111,3	2,350	2,368	95,55%	95,64%
160	111,1	2,350	2,385	96,25%	160	111,2	2,352	2,374	95,80%	160	111,1	2,354	2,372	95,72%	95,92%
Gmb (Medido)		2,385	1,015059236		Gmb (Medido)		2,374	1,009317865		Gmb (Medido)		2,372	1,007560659		

En la tabla 44, se muestran tres datos iniciales, en el cual se analiza el numero de giros, la altura del espécimen en el molde durante la compactación en milímetros (Ht) y por último la gravedad especifica bruta estimada del espécimen durante la compactación. Ya analizando en sí las tres mezclas de prueba se tienen en cuenta la gravedad específica bruta corregida a cualquier número de giros y el porcentaje de gravedad especifica bruta.

La Gmb (estimada) fue determinada como:

$$V_{mx} = \frac{\pi * d^2 * h}{4}$$

Donde:

V_{mx} = es el volumen del espécimen en el molde durante la compactación (cm³).

D = el diámetro del molde (150mm)

H = la altura del espécimen en el molde durante la compactación (mm)

$$Gmb (estimada) = \frac{P_m}{V_{mx}}$$

Donde:

Gmb (estimada) = es la gravedad especifica bruta estimada del espécimen durante la compactación.

P_m = es el peso del espécimen (g).

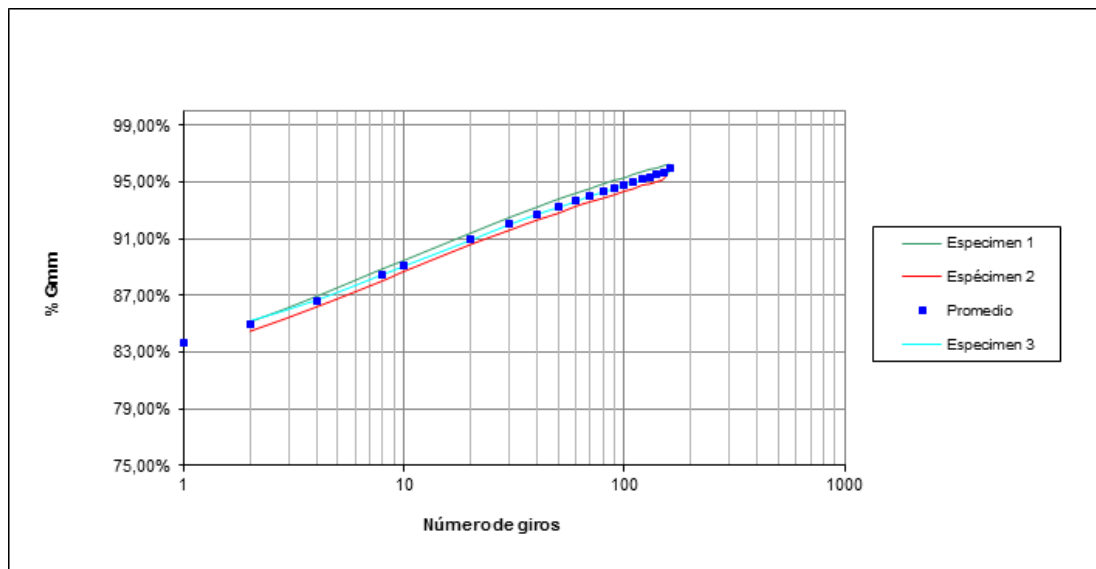
Con relación a la prueba 1, en este cálculo se supone que el espécimen es un cilindro de bordes lisos. El volumen del espécimen es ligeramente menor que el volumen de un cilindro de bordes lisos, pues la superficie es irregular. Esta es la razón por la cual la Gmb (estimada) a 160 giros (2,350), difiere de la medida después de los 160 giros (2,385). Para corregir esta diferencia, la Gmb (estimada) a cualquier número de giros es multiplicada por la relación entre la gravedad específica bruta medida (N. max) y la gravedad específica bruta estimada (N. max) usando la siguiente formula.[30]

$$F_c = \frac{Gmb \text{ (medido)}}{Gmb \text{ (est.*Nmax)}}$$

La Gmb (estimada) para todos los otros números de giros puede luego corregirse empleando el factor de corrección:

$$Gmb \text{ (corregido)} = F_c * Gmb \text{ (estimada)}$$

Figura 32. Relación del número de giros y el porcentaje de Gmm, de los tres especímenes y el promedio



Resumiendo los datos de la compactación de la mezcla de prueba, se obtuvieron de esta manera:

MEZCLA	%ASFALTO	%GMM A Nini	%Gmm A Nmáx	%Gmm a Ndis	%Vacíos de aire	%VMA
1	4,58%	88,47%	95,92%	94,82%	5,18%	14,10%

% Vacíos de Aire = $100 - \%Gmm \text{ N. diseño}$

$$\%VAM = \frac{100 - (\%Gmm \text{Ndiseño} * GmmPs)}{Gsb}$$

Después se calcula el Pb (estimado) para un 4% de vacíos de aire se obtuvieron los siguientes resultados:

Pb estimado	5,05%	criterio
%VAM Est	13,87%	> 13%
%VAF Est	71,15%	65% - 75%
%Gmm Est a Nini	89,65%	< 89%
%Gmm Est a Nmáx	97,11%	< 98%

Valor de Constante: 0.2

Cálculos Tipo:

$$P_{best.} = P_{bi} - [0,4(4 - V_a)]$$

$$\%VAM_{est} = \%VAM_{inicial} + C * (4 - V_a)$$

$$\%VFA_{est} = 100\% * \frac{\%VAM_{est} - 4}{\%VAM_{est}}$$

$$\%Gmm_{est.} = \%Gmm_{prueba} - (4 - V_a)$$

Propiedades volumétricas de la mezcla estimada para N. diseño

Mezcla	%Asfalto En Mezcla De Prueba	%Asfalto Estimado	% Vacios Con Aire	% Vma	% Vaf
1	4,58%	5,05%	4,00%	13,87%	71,15%

Relación filler / ligante DP			
Pbe Estimado	4,31%	CRITERIO	
DP	1,30	0.6 - 1.6	CUMPLE

Selección del ligante de diseño:

COMPACTAR		Descripción
2 Especímenes a	5,1%	Es el Pb (estimado)
2 Especímenes a	5,6%	Es el Pb (estimado) + 0.005
2 Especímenes a	4,6%	Es el Pb (estimado) - 0.005
1 Espécimen a	6,1%	Es el Pb (estimado) + 0.01

Tabla 46. Gmm briqueta óptimo

Muestra No.	A= Peso seco (g)	B= Peso recipiente con agua (g)	C= Peso recipiente con agua y muestra (g)	D= Peso específico, Gmm
Pbe	1100,1	2119,4	2767,6	2,4344
Pbe + 0.5%	1000	2118,6	2702,6	2,4038
Pbe - 0.5%	1000,8	2118,4	2712,2	2,4590
Pbe+1.0 %	900,4	2118,5	2639,9	2,3757

Tabla 47. G Bulk:

Contenido de Asfalto	Muestra No.	A= Peso seco (g)	B= Peso sumergido (g)	C= Peso sss (g)	D= Peso específico aparente 25/25°C	E = Peso unitario a 25°C (Kg/m ³)	% Absorción agua	% Vacios
Pbe	1	4604	2690,5	4609	2,400	2392,5921	0,26	1,42
	2	4598	2700,5	4604	2,416	2408,3037	0,32	0,77
Pbe + 0.5%	1	4598	2696,9	4600	2,416	2408,8098	0,11	0,00
	2	4602	2710,5	4606	2,428	2420,5719	0,21	0,00

Contenido de Asfalto	Muestra No.	A= Peso seco (g)	B= Peso sumergido (g)	C= Peso sss (g)	D= Peso específico aparente 25/25°C	E = Peso unitario a 25°C (Kg/m ³)	% Absorción agua	% Vacíos
Pbe - 0.5%	1	4601	2682,6	4608	2,390	2382,4644	0,36	2,82
	2	4598	2684,3	4606	2,393	2385,4951	0,42	2,70
Pbe+1.0 %	1	4595	2701,2	4598	2,423	2415,2336	0,16	0,00
	2	4586	2696,7	4591	2,421	2413,6842	0,26	0,00

4.3.3.2 Mezcla de diseño

MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON PBE:

- Numero de Ejes Equivalentes entre 10 y 30 millones
- Numero de Giros para el trafico de diseño

N inicial	N diseño	N máx
8	100	160

Tabla 48. Resumen de la compactación de la mezcla asfáltica

Mezcla	%Asfalto	% Gmm A Nini	% Gmm A Nmáx	% Gmm A Ndis	% Vacíos De Aire	% Vma
1	5,00%	91,36%	98,90%	97,88%	2,12%	13,89%

MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON PBE + 0.5%:

- Numero de Ejes Equivalentes entre 10 y 30 millones
- Numero de Giros para el trafico de diseño

N inicial	N diseño	N máx
8	100	160

Tabla 49. Resumen de la compactación de la mezcla asfáltica

Mezcla	% Asfalto	% Gmm A Nini	% Gmm A Nmáx	% Gmm A Ndis	% Vacios De Aire	% Vma
1	5,50%	93,21%	100,75%	99,84%	0,16%	13,73%

Ver anexo 5

MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON PBE - 0.5%:

Numero de Ejes Equivalentes entre 10 y 30 millones

Numero de Giros para el tráfico de diseño

N inicial	N diseño	N máx
8	100	160

Ver anexo 7

Tabla 50. Resumen de la compactación de la mezcla asfáltica

MEZCLA	%ASFALTO	%GMM A Nini	%Gmm A Nmáx	%Gmm a Ndis	%Vacios de aire	%VMA
1	4,50%	89,82%	97,24%	96,29%	3,71%	13,99%

MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON PBE + 1.0%:

- Numero de Ejes Equivalentes entre 10 y 30 millones
- Numero de Giros para el trafico de diseño

Ninicial	Ndiseño	Nmáx
8	100	160

Ver anexo 9

Tabla 51. Resumen de la compactación de la mezcla asfáltica

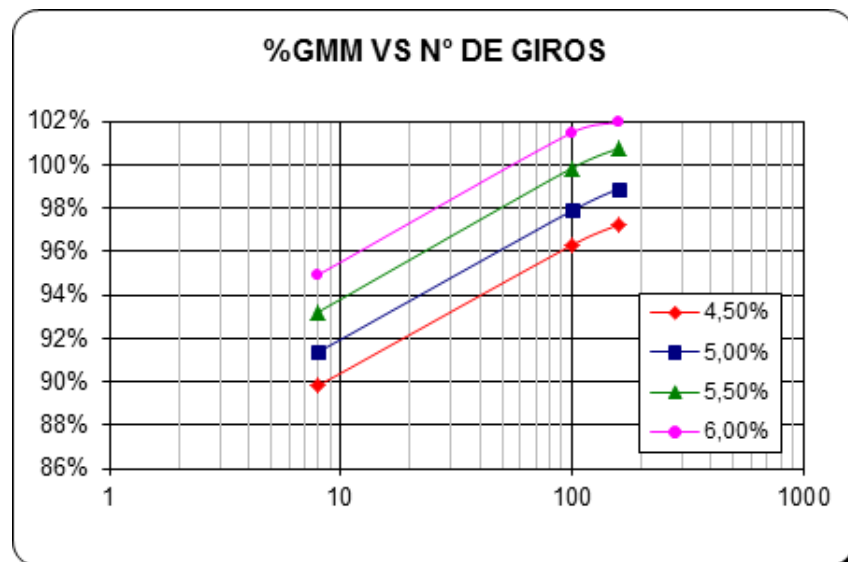
Mezcla	% Asfalto	% Gmm A Nini	% Gmm A Nmáx	% Gmm A Ndis	% Vacios De Aire	% Vma
1	6,00%	94,92%	101,94%	101,47%	0,00%	13,80%

Tabla 52. Finalización del diseño de la mezcla

% DE ASFALTO		% Gmm a Nini	% Gmm a Nmáx	% Gmm a Ndis	% Vacios con Aire	% VAM	%VFA
Pbe - 0.5%	4,50%	89,82%	97,24%	96,29%	3,71%	13,99%	73,44%
Pbe	5,00%	91,36%	98,90%	97,88%	2,12%	13,89%	84,71%
Pbe + 0.5%	5,50%	93,21%	100,75%	99,84%	0,16%	13,73%	98,80%
Pbe + 1.0%	6,00%	94,92%	101,94%	101,47%	0,00%	13,80%	100,00%

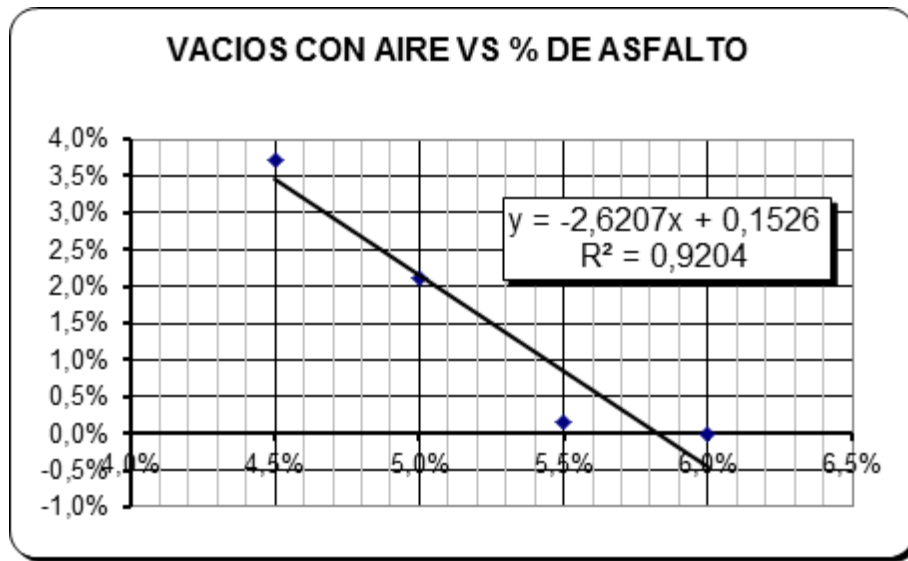
En esta grafica se observa que a medida que va aumentando el porcentaje de asfalto el número de giros inicial y el máximo tienden a aumentar.

Figura 33. Relación del porcentaje de Gmm con el número de giros en los cuatro porcentajes de asfalto.



En esta grafica se visualiza el ascenso del porcentaje de asfalto a la misma vez disminuye el porcentaje de vacios con aire

Figura 34. Regresión lineal entre el porcentaje de vacios con el porcentaje de asfalto.



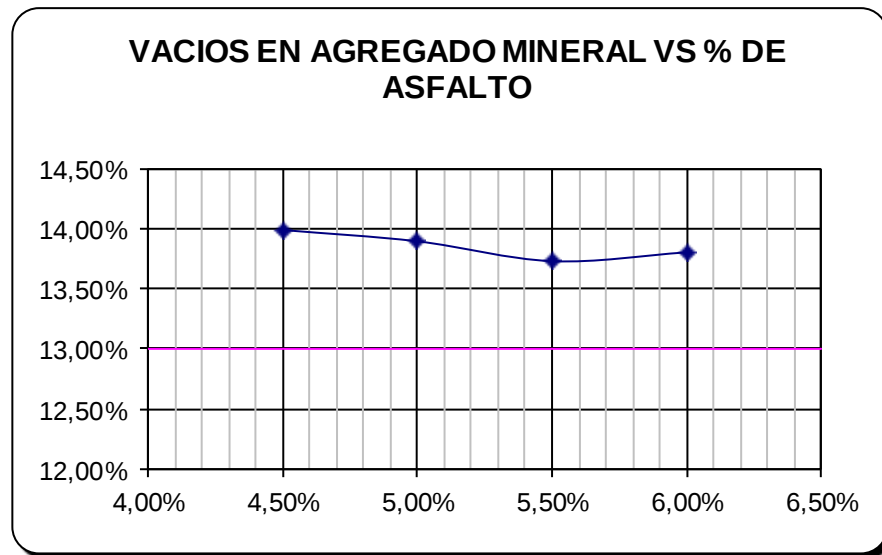
% Vacíos = 4%

$$\%AC \text{ optimo} = \frac{-0,1526+0,04}{-2,6207} * 100$$

% AC optimo = 4,3%

Se observa en esta ilustración que a medida que va aumentando el porcentaje de asfalto va disminuyendo el porcentaje de vacios en agregado mineral, hasta que llega un punto que vuelve y aumente el porcentaje de vacios.

Figura 35. Representación del porcentaje de vacios en agregado mineral y de asfalto



En esta ilustración se observa el ascenso del porcentaje de vacios llenos de asfalto a medida que se va incrementando el porcentaje de asfalto.

Figura 36. Representación del porcentaje de vacios llenos de asfalto y de asfalto

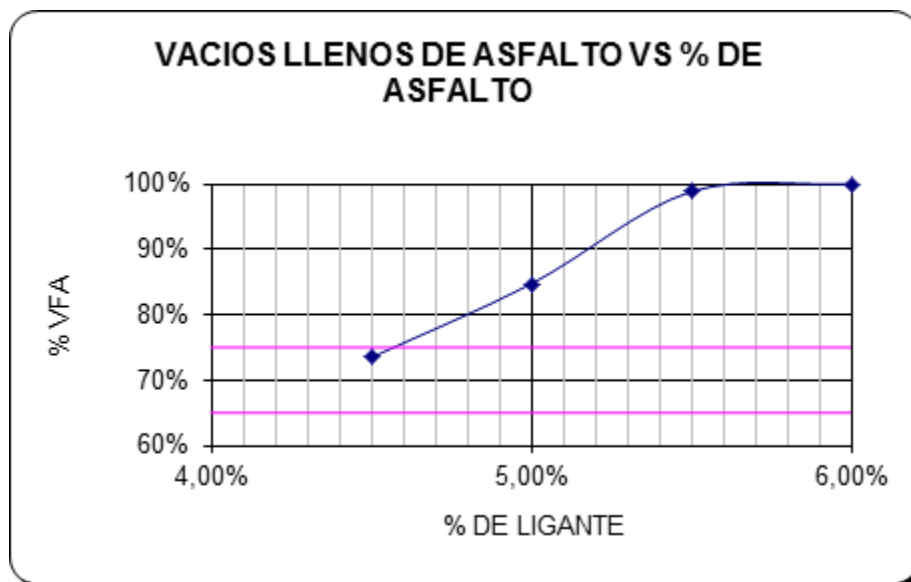


Tabla 53. Comparación de resultados con los criterios que rigen el Método Superpave.

PROPIEDAD DE LA MEZCLA	RESULTADO	CRITERIO
% Vacíos de Aire	4,00%	4%
% VAM	13,99%	13% Min
% VFA	67,00%	65 - 75 %
Pb (Final)	4,3%	
Pb (Efectivo)	3,56%	
DP (polvo/ligante)	1,58	0.6 -1.6
% Gmm Inicial	89,82%	89% Max
% Gmm Max	97,24%	98% Max

RESULTADOS

RESULTADOS POR LAS ESPECIFICACIONES POR EL MÉTODO INVIAS

Tabla 54. Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el Método Marshall – artículo 450 – 07.

DISEÑO MDC-2		
Características	NT-3	
	Medido	Rango
Compactación, golpes/cara	75	75
Estabilidad óptima, Kgf	1401	900
Flujo, mm	2,9	2 ÷ 3,5
Vacíos con aire	5,4	4 ÷ 6
Vacíos en Agregados Minerales	16,5	>=15
Contenido Óptimo de asfalto	5,4	-
vacíos llenos con asfalto	65,4	65-75
Filler/ligante	1,4	0,8-1,2
Estabilidad / flujo, kg/mm	480	cumple

Tabla 55. Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas. Nivel transito NT3.

Tipo de tratamiento o mezcla	Desgaste de los ángeles	Desgaste Microdeval	Ensayo de Solidez		Caras Fracturadas %mínimo 1cara/2caras	Angularidad Método A (A. Fino)	Coeficiente de Pulimento Acelerado	Partículas Planas y Alargadas Relación (5:1)	Equivalente de Arena	Contenido de Impurezas (Agregado Grueso)	10% Finos	
			Sulfato de Sodio	Sulfato de Magnesio							Seco	Relación seco/húmedo
Mezcla densa, semidensa y gruesa en caliente	E -218/219	E-238	E-220	E-220	E-227	E-239	E-232	E-240	E-133	E-237	E - 224	E - 224
Agregado Grueso	25% máx (rodadura)	25%	12% máx	18% máx	75%/60% (Rodadura)		0,45 mín (Rodadura)	10% máx		0,5% máx	110 min (rodadura)	75%min (rodadura)
		máx(rodadura)										
Agregado Fino			12% máx	18%max		45% mín (Rodadura)						
Gradación Combinada									50% mín			

Tipo de tratamiento o mezcla	Desgaste de los ángulos	Desgaste Microdeval	Ensayo de Solidez		Caras Fracturadas %mínimo 1cara/2caras	Angularidad Método A (A. Fino)	Coeficiente de Pulimento Acelerado	Partículas Planas y Alargadas Relación (5:1)	Equivalente de Arena	Contenido de Impurezas (Agregado Grueso)	10% Finos
			Sulfato de Sodio	Sulfato de Magnesio							Relación seco/húmedo
Mezcla densa, semidensa y gruesa en caliente	E -218/219	E-238	E-220	E-220	E-227	E-239	E-232	E-240	E-133	E-237	E - 224
Agregado Grueso	23,90%	11%	10,01%	12,23%	96,22% / 74,94%		0,48%	7%		0,48%	89,20%
Agregado Fino			6,29%	14,59%		39,90%					
Gradación Combinada									54%		

Fuente: Norma INVIAS

5.2 RESULTADOS POR LAS ESPECIFICACIONES POR EL MÉTODO SUPERPAVE.

Tabla 56. Propiedades de la mezcla de diseño

PROPIEDAD DE LA MEZCLA	RESULTADO	CRITERIO
% Vacíos de Aire	4,00%	4%
% VAM	13,99%	13% Min
% VFA	67,00%	65 - 75 %
Pb (Final)	4,3%	
Pb (Efectivo)	3,56%	
DP (polvo/ligante)	1,58	0.6 -1.6
% Gmm Inicial	89,82%	89% Max
% Gmm Max	97,24%	98% Max

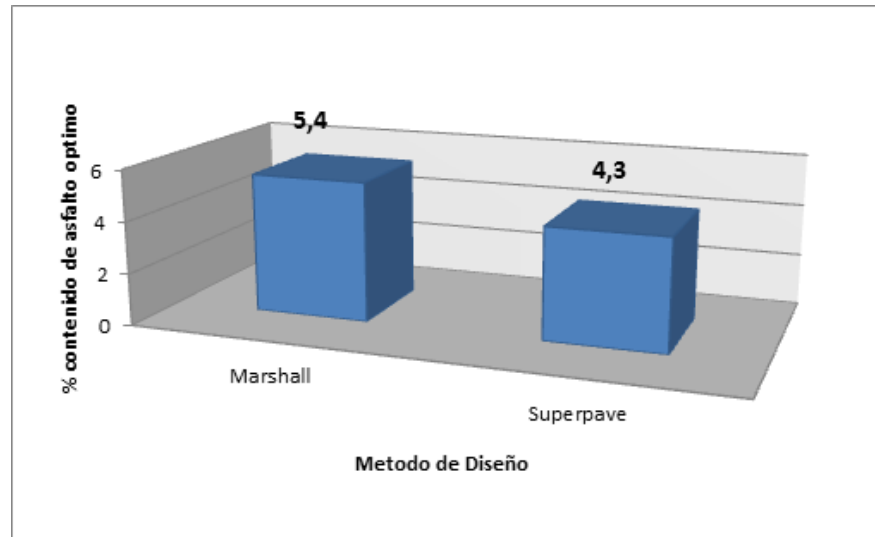
Tabla 57. Propiedades de la mezcla de agregado estimado

Propiedad	Criterio	Mezcla
Angularidad del agregado grueso	90 - 95%(mínimo)	100
Angularidad del agregado fino	45% (mínimo)	46,9
Equivalente de Arena	45% (mínimo)	55

5.3 COMPARACIONES DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO MARSHALL Y SUPERPAVE.

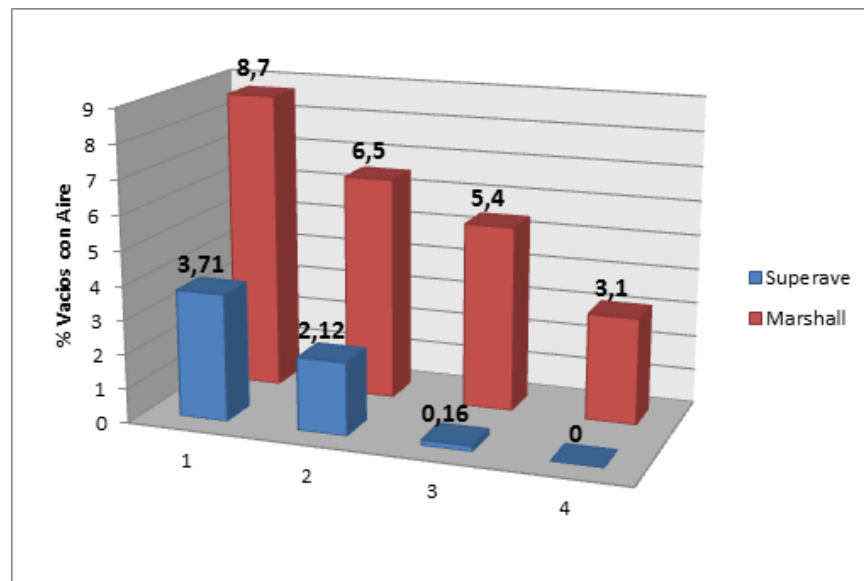
En cuanto a los porcentajes de contenido de asfalto obtenidos por las dos metodologías de diseño, se observa que por el Método Marshall se obtuvo un porcentaje del 5,4 y por el Método Superpave un porcentaje del 4,3, donde se llego a evidenciar que esta diferencia se debe a los diferentes criterios que maneja cada método de diseño para su obtención, además del tipo de compactación, pues como es bien conocido, la compactación giratoria Superpave, brinda una mayor veracidad de lo que realmente sucede en campo, a la hora de ser puesta la carpeta asfáltica.

Figura 37. Método de Diseño Vs % contenido de asfalto



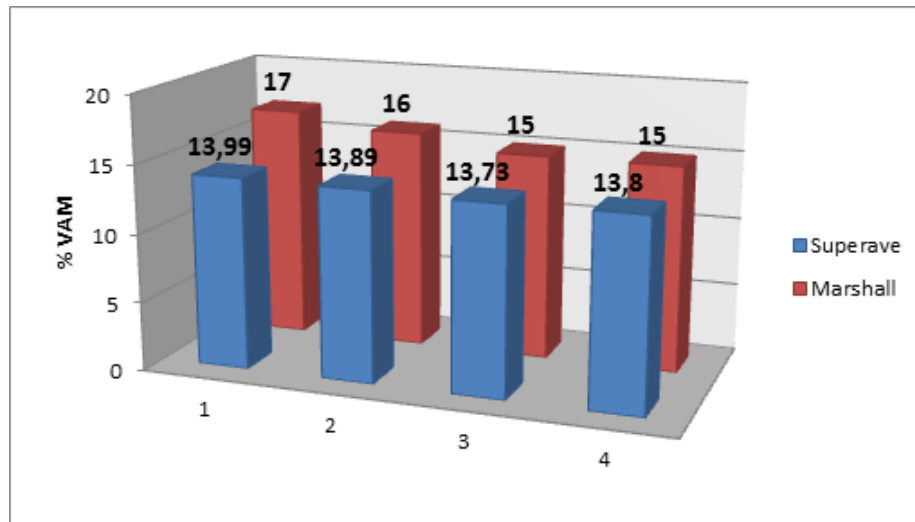
En esta grafica se observa que a medida que aumenta el porcentaje de asfalto el porcentaje de vacíos en los dos métodos de diseño tienden a disminuir.

Figura 38. Porcentaje de vacíos Vs porcentaje de asfalto



En esta grafica se observa que a medida que aumenta el porcentaje de asfalto el porcentaje de vacíos con agregado mineral en los dos métodos de diseño tienden a disminuir.

Figura 39. Porcentaje de vacíos con agregado mineral Vs Porcentaje de asfalto.



En esta grafica se observa que a medida que aumenta el porcentaje de asfalto el porcentaje de vacíos llenos de asfalto en los dos métodos de diseño tienden aumentar.

Figura 40. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto Vs Porcentaje de asfalto.

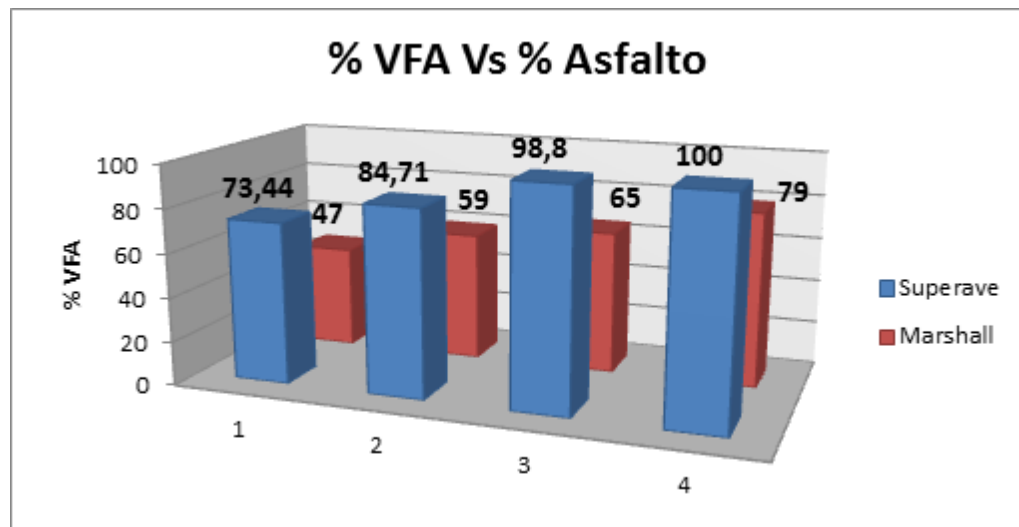


Tabla 58. Comparación de los dos Métodos de Diseño Marshall y Superpave.

MARSHALL	SUPERPAVE
En Colombia se utiliza esta metodología para dosificar materiales en diseño de mezclas en caliente. Se tienen franjas granulométricas dependiendo del tipo de mezcla. Tamaño máximo	Se tiene puntos de control en 4 aberturas de tamiz para aprobar el uso de materiales según su distribución granulométrica. Los puntos de control dependen del tamaño máximo nominal es de ½" de los agregados.
Se caracterizan los agregados por: resistencia al impacto, resistencia a la abrasión, limpieza, forma, angularidad.	Se caracterizan agregados según propiedades de origen y consenso
La compactación se hace por golpes con Martillo Marshall, 75 golpes por cara	La compactación se hace por amasado en el compactador giratorio. Hasta 160 giros.
Solo se contempla el dato de densidad después de compactación para verificar el volumen de vacíos con aire.	El software incorporado en el compactador giratorio recibe cada giro la altura interna de la probeta en el molde mientras se compacta. Evidenciando la facilidad o dificultad con que se comporta la mezcla mientras se densifica.
Para determinar el óptimo de asfalto se utilizan pruebas destructivas tales como la medición de la estabilidad	El óptimo de asfalto se obtiene por medio de propiedades volumétricas: Va, VMA, VFA.
Según especificaciones actuales ambas metodologías requieren hacer el ensayo de susceptibilidad a la humedad para corroborar el óptimo logrado.	

6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL METODO SUPERPAVE EN COLOMBIA

A lo largo de este trabajo podemos identificar las diferentes ventajas y desventajas que nos da el Método Superpave, respectivamente se enunciarán algunas de las más importantes.

6.1 VENTAJAS

Proporciona un mejoramiento del producto final relacionado con el desempeño del pavimento, iniciando por la compactación por amasado que nos indica las condiciones de compactación en campo durante el tendido de la mezcla

Se pueden conocer las propiedades de la mezcla en las diferentes etapas de su densificación

Mediante este método podríamos conocer en Colombia de manera indirecta si la mezcla tendrá la durabilidad, sobre todo considerando su capacidad de resistir deformaciones permanentes y si es capaz de resistir daños por humedad

Establece similitudes entre el laboratorio y la realidad influyendo en las propiedades del ligante asfáltico, considerando además el efecto de las propiedades de los materiales sobre la capacidad de ahuellamiento de la carpeta.

6.2 DESVENTAJAS

En las especificaciones SUPERPAVE, la confiabilidad es el porcentaje de probabilidad asociado a un año singular en que la temperatura real no excederá a la del diseño, lo cual indica una relevancia importante en Colombia, ya que las temperaturas son variables y existe una gran probabilidad de que el valor determinado sobrepase la temperatura de diseño en algunas zonas.

Las ecuaciones del Método SHRP están adoptadas al clima de los Estados Unidos y Canadá, las que no necesariamente presentan las mismas condiciones que las del clima de Colombia, por esto el método no representa adecuadamente el estado térmico de los pavimentos nacionales en los periodos de máxima y mínima temperatura.

El método SUPERPAVE presenta inconvenientes con respecto a los equipos necesarios para efectuar los ensayos, pues se caracterizan por presentar altos costos

Puede destacarse que SUPERPAVE no tiene la versatilidad en sus equipos para llevar a cabo acciones de control de calidad en campo

En Colombia por razones de tipo económico y por el alto costo de ensayos SUPERPAVE, se dedican a diseñar pavimentos por métodos tradicionales, dejando a un lado el comportamiento dinámico de las mezclas y lo que esta representa en la vida útil de una carpeta asfáltica, esta tesis son solo involucra ensayos de Superpave de primer nivel, para diseñar completamente con esta metodología, se deben continuar con los demás niveles de diseño.

Debido a la poca oferta de Laboratorios con Metodología SUPERPAVE, hace que los costos de su implementación sean demasiado elevados con respecto a las metodologías tradicionales. Un diseño completo de mezcla por el Método Marshall, tiene un costo de 6.500.000 (seis millones quinientos mil pesos) y un diseño completo de mezcla por el Método SUPERPAVE, tiene un costo de 15.000.000 (quince millones de pesos).

7. CONCLUSIONES

En el método Superpave se obtuvieron porcentajes óptimos de asfaltos en las mezclas menores a los que se obtienen por el método Marshall, debido al tipo de compactación por amasado que emplea el método Superpave.

En cuanto a que método es el mejor, depende del tipo de proyecto de ejecución y lo que se espere del mismo, es decir, el método Marshall utiliza equipos más versátiles que permiten llevar a cabo el control de calidad en la obra. Por otra parte, aunque esta metodología Superpave es mucho más elaborada, requiere equipos que no son fácilmente desplazables y a su misma vez presentan costos mayores, que de cualquier forma, los resultados obtenidos por este método ofrecen una mayor confianza y seguridad frente a las situaciones que se puedan presentar en campo, sabiendo que el diseño es más representativo al óptimo.

Obtener una mezcla asfáltica óptima por la metodología Superpave garantiza economía en la producción de la mezcla sin desconocer las propiedades que tendrá durante su desempeño.

La masa de (1) un metro cúbico de mezcla asfáltica compactada es aproximadamente 2400 kg, es decir, 1,1%, la diferencia en porcentaje óptimo de asfalto entre metodologías de diseño, representa 27 kg de asfalto. Por lo tanto se reduce el costo de producción en casi \$30.000.

Se analizó que tanta diferencia hay en cuanto a costo entre los dos métodos de diseño para una vía de cinco kilómetros (5km) cuyo espesor es de veinte centímetros (20cms) y tiene un ancho de seis metros. Sabiendo que hay una diferencia del 1,1% de óptimo de asfalto y que 1 kilogramo de asfalto esta valiendo aproximadamente \$1100 pesos y la mezcla en planta está por los alrededores de 350.000 pesos. Por el método Marshall con un porcentaje de 5,4% óptimo de

asfalto valdría \$ 356'400.000 pesos y por el método Superpave con un porcentaje de 4,3% optimo de asfalto estaría en los alrededores de 283'800.000. Habiendo un diferencia de ahorro de \$ 72'600.000 pesos si lo haríamos por el método Superpave.

La relación Filler/Ligante en ambas metodologías fue superior a 1,4, siendo permitido este valor en la fase I del diseño Superpave y no por los criterios del Diseño Marshall. Esta relación influye en la vida a la fatiga del material y se comprueba con el ensayo especializado Ley de Fatiga en viga por deformación controlada.

En Diseño Superpave el valor del Pbi fue de 4,58% estimado a partir de los pesos específicos. Muy cercano al obtenido terminado el diseño. Se concluye que es confiable la metodología de pesos específicos que contempla Superpave.

Para terminar de comprobar las dos metodologías según exigencias de tráfico NT-3 se recomienda continuar las pruebas de acuerdo a lo exigido en el Artículo 450 de la especificación INVIAS para Diseño Marshall y a la fase II y III de la metodología Superpave.

8. RECOMENDACIÓN

En el caso de usar una metodología de diseño para mezclas asfálticas, es recomendable el Método Superpave para los estudios en laboratorios, siempre y cuando se tenga acercamiento a la tecnología necesaria. Además que el Método Marshall es más aconsejable para acciones de control en campo, debido a la versatilidad de los equipos empleados.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Faúndez, Jaime. “Zonificación de Chile para la elección de ligantes de pavimentos asfálticos según el Método Superpave – SHRP”. Memoria, Universidad de Chile, 1999.

[2] Garnica Anguas, Paul., Delgado Alamilla, Horacio y Sandoval Sandoval, Carlos Daniel. Análisis comparativo de los Métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas. Trabajo de grado de grado. Universidad Autónoma de Chihuahua.2005.

[3] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Artículo: Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, subbases granulares y bases granulares y estabilizadas. Bogotá: INVIAS, 2007. 8p (Artículo 300-07).

[4]CVV, BITUMIX, Especialidades Asfálticas. “Metodología Superpave para el diseño de Mezclas Asfálticas. Departamento Gestión de calidad y desarrollo, Julio 2005.

[5]INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Bogotá: INVIAS, 2007.

[6] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Artículo: Mezclas Asfálticas en caliente. Bogotá: INVIAS, 2007.(Artículo 450-07).

[7] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Artículo: Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena de asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos. Bogotá: INVIAS, 2007.(Artículo 400-07).

- [8] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. Bogotá: INVIAS, 2007. 9p (I.N.V.E-107-07)
- [9] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. Bogotá: INVIAS, 2007. 9p (I.N.V.E-213-07)
- [10] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Gravedad específica y absorción de agregados gruesos. Bogotá: INVIAS, 2007. 6p (I.N.V.E-223-07)
- [11] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras. Bogotá: INVIAS, 2007. 11p (I.N.V.E-230-07)
- [12] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICA Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica: Concretos. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto. Bogotá: ICONTEC, 2000. 4p (NTC 127)
- [13] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½ ") por medio de la máquina de los ángeles. Bogotá: INVIAS, 2007. 6p (I.N.V. E-218-07)
- [14] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Porcentaje de caras fracturadas en los agregados. Bogotá: INVIAS, 2007. 5p (I.N.V. E-227-07)
- [15] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión utilizando el aparato Micro-Deval. Bogotá: INVIAS, 2007. 7p (I.N.V. E-238-07)
- [16] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Equivalente de arena de suelos y agregados finos. Bogotá: INVIAS, 2007. 15p (I.N.V. E-133-07)

[17] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICA Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica: Método de ensayo para determinar la solidez (sanidad) de agregados para el uso de sulfato de magnesio. Bogotá: ICONTEC, 2000. 11p (NTC 126)

[18] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influenciados por forma de las partículas, textura de la superficie y gradación). Bogotá: INVIAS, 2007. 10p (I.N.V. E-239-07)

[19] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Evaluación de la resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método de 10% de finos. Bogotá: INVIAS, 2007. 4p (I.N.V. E-224-07)

[20] Santos Montero, David Alberto., Gonzales Castiblanco, Orlando Javier. "Diseño del concreto asfáltico y alternativa de construcción de pavimento flexible con asfalto modificado tipo Mexphalte sobre el puente elevado de la avenida Suba intersección con la avenida Boyacá al sistema transmilenio Suba tramo II en la ciudad de Bogotá D.C. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia, 2005.

[21] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Concentración crítica de llenante en mezclas de concreto asfáltico. Bogotá: INVIAS, 2007. 4p (I.N.V. E-745-07)

[22] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Determinación de la limpieza superficial de las partículas de agregado grueso. Bogotá: INVIAS, 2007. 3p (I.N.V. E-237-07)

[23] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Penetración de los materiales asfálticos. Bogotá: INVIAS, 2007. 8p (I.N.V. E-706-07)

[24]INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Índice de penetración de cementos asfálticos. Bogotá: INVIAS, 2007. 2p (I.N.V. E-724-07)

[25] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Norma Técnica: Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional. Bogotá: INVIAS, 2007. 5p (I.N.V. E-717-07)

[26] Peña Acosta, Edgar Alexis. Análisis comparativo del diseño de mezclas asfálticas MDC-2 con asfalto original y modificado con polímeros por el Método Marshall y Superpave. Trabajo de grado de grado. Universidad industrial de Santander. 2007.

[27]Corasfaltos. Reporte técnico final: “Ley de fatiga por deformación controlada a mezcla asfáltica MDC-2 con asfalto 60/70. Noviembre, 2011.

[28]Corasfaltos. Reporte técnico final: “Deformación permanente a mezclas asfálticas MDC-1 y MDC-2 con asfalto convencional. Febrero, 2010.

[29] M Dávila, Juan Manuel. Análisis comparativo de modulo resiliente y ensayos de deformación permanente en mezclas asfálticas de tipo MDC -2 en briquetas compactadas con martillo Marshall y compactador giratorio. Trabajo de grado de grado. Universidad Pontificia Javeriana. 2005.

[30] Manual Superpave. Antecedentes de los métodos de ensayo de ligantes asfálticos de Superpave. Enero, 1998.

ANEXOS

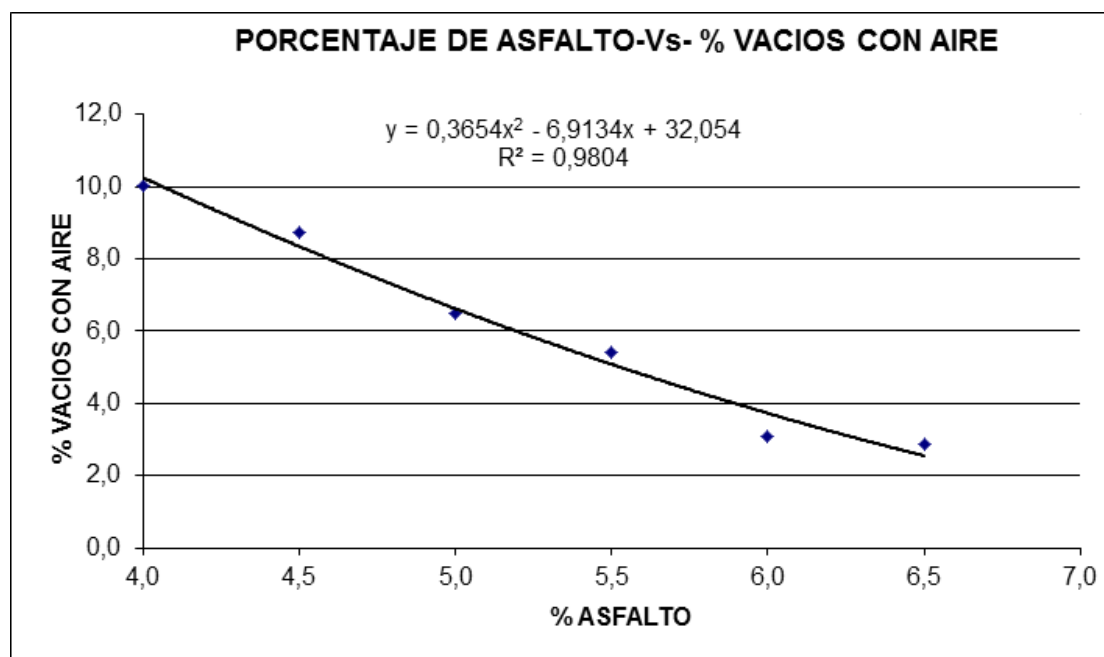
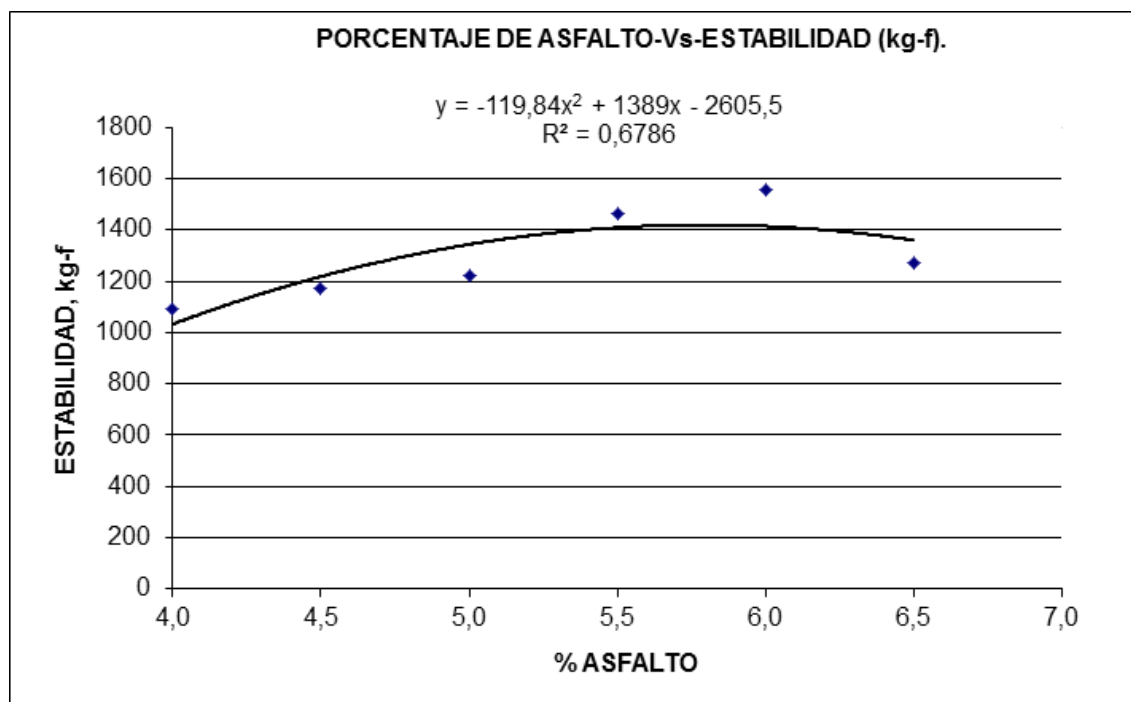
ANEXO 1 DISEÑO POR EL METODO MARSHALL

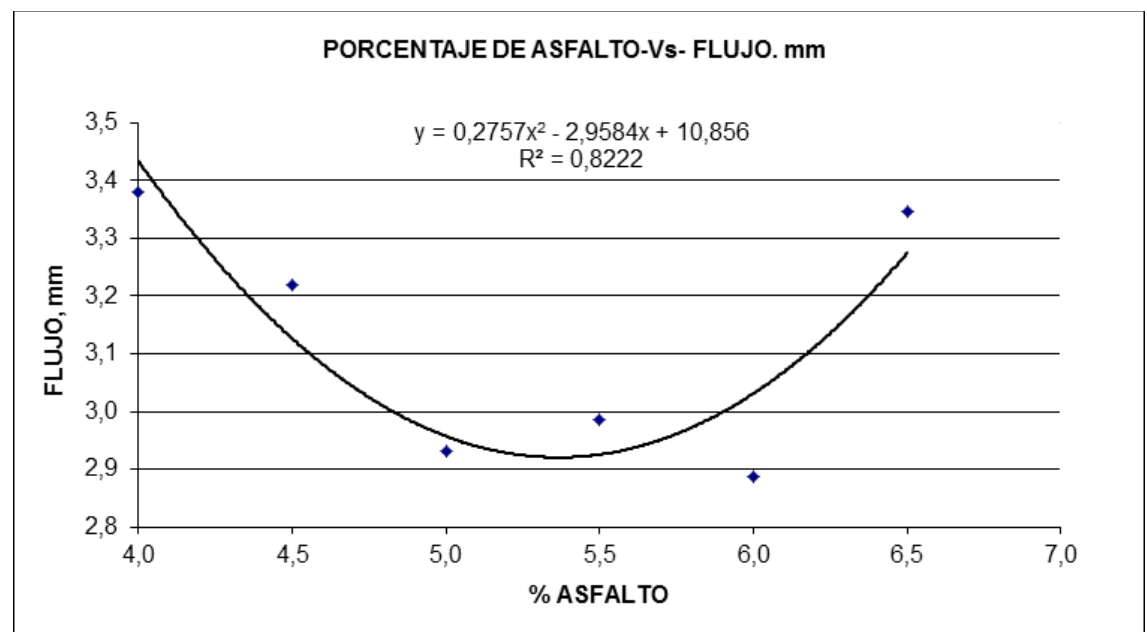
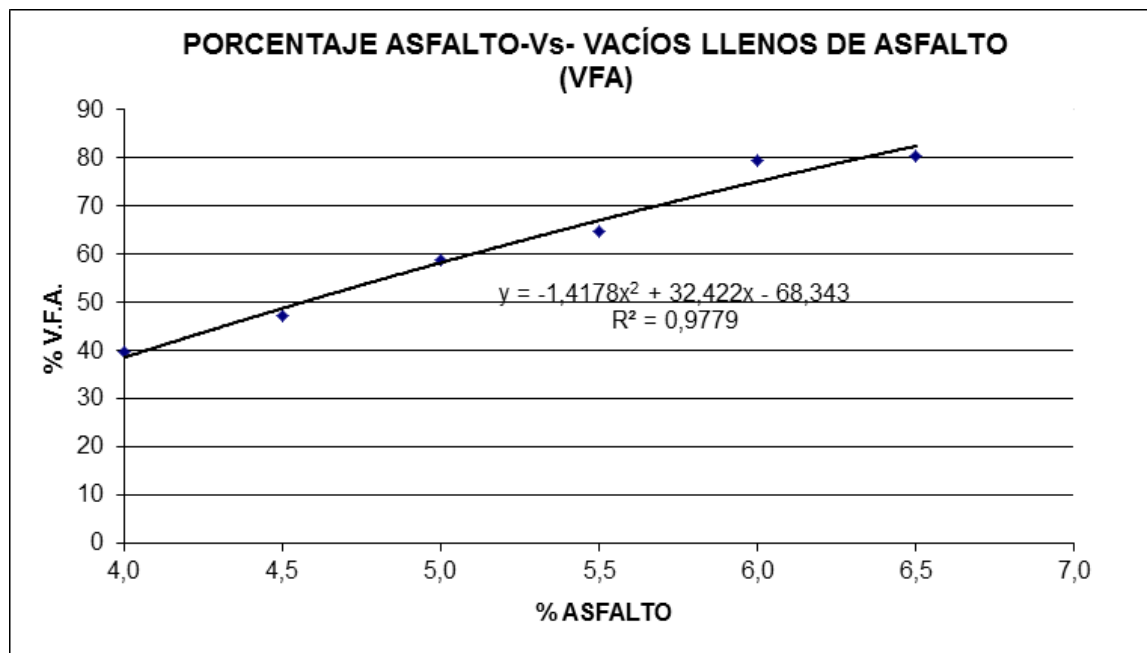
PESOS ESPECIFICOS		% EN COMBINACION
GRUESOS	2,630	42,5
FINOS	2,587	57,5
LLENANTE	2,671	5,6
total (Gsb)	2,605	105,6
ASFALTO	1,009	

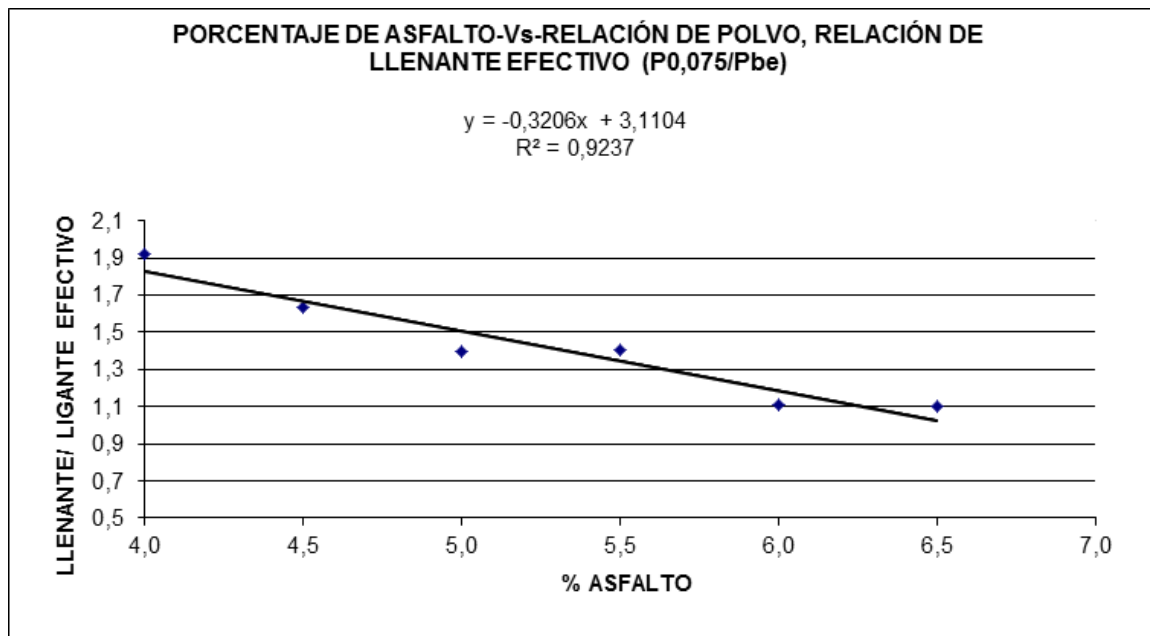
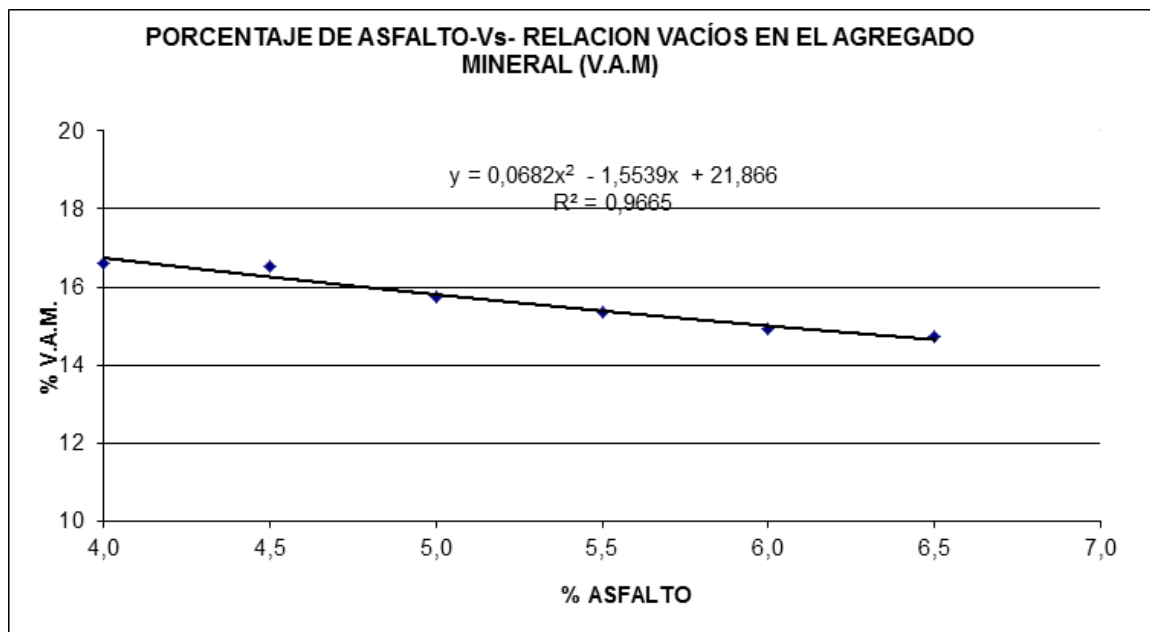
PESO ESP. LLENANTE- APORTE		
LLENANTE	100	2,671
APORTE	0	0,00001
		2,67063

PROBETA #	% ASF.	ESPESOR PROMEDIO (mm)	FACTOR DE CORRECCION	PESO SECO, g	PESO SUMERGIDO, g	PESO S.S.S., g	PESO ESP. BULK.	Gmb	Gm	Gsb	Gse	Pba	Va	VAM	VFA	FLUJO, mm	Pbe	RP	
								GMM	GRAV. ESPEC. BULK AGREGADO	GRAVEDAD ESP. EFECT. DEL AGREGADO	% ABSORCION DE LIGANTE	% VACIOS CON AIRE	% V.A.M.	% V.F.A.	ESTABILIDAD MEDIDA, N		LIGANTE EFECTIVO	RELACION DE POLVO	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg.f)
1	4,0	59,9	1,003	1066,2	600,0	1071,1	2,263	2,515	2,605	2,682	1,1	10,0	16,6	39,7	8702	3,4	2,9	1,9	890
2		64,1	0,988	1103,7	619,8	1110,3	2,250					10,5	17,1	38,3	9732	3,3		1,9	980
3		63,2	1,011	1179,5	665,5	1183,9	2,275					9,5	16,2	41,0	13628	3,4		1,9	1404
PROMEDIO							2,263					10,0	16,6	39,7	10687	3,4		1,9	1091
1	4,5	63,6	1,000	1192,0	676,5	1197,1	2,290	2,495	2,605	2,681	1,1	8,2	16,1	48,8	12689	3,6	3,5	1,6	1293
2		66,2	0,941	1193,9	678,3	1197,9	2,298					7,9	15,8	49,9	12339	2,9		1,6	1184
3		65,9	0,947	1152,5	644,5	1158,0	2,244					10,0	17,7	43,3	10722	3,2		1,6	1035
PROMEDIO							2,277					8,7	16,5	47,3	11917	3,2		1,6	1171
1	5,0	65,9	0,947	1202,0	686,0	1206,2	2,311	2,471	2,605	2,675	1,0	6,5	15,7	58,8	12056	3,1	4,0	1,4	1164
2		65,5	0,954	1199,3	684,3	1204,6	2,305					6,7	15,9	57,9	12334	2,6			1199
3		65,6	0,953	1202,4	688,4	1207,5	2,316					6,3	15,5	59,7	13495	3,0		1,4	1311
PROMEDIO							2,311					6,5	15,7	58,8	12628	2,9		1,4	1225
2	5,5	66,0	0,945	1175,1	671,9	1178,2	2,321	2,454	2,605	2,677	1,0	5,4	15,4	64,7	15127	2,8	4,0	1,4	1457
3		65,1	0,963	1209,5	690,8	1211,2	2,324					5,3	15,2	65,3	15416	3,0			1513
PROMEDIO							2,320					5,5	15,4	64,5	14611	3,2		1,4	1421
1	6,0	66,1	0,943	1224,4	708,2	1226,0	2,365	2,433	2,605	2,674	1,0	5,4	15,3	64,8	15051	3,0	5,1	1,4	1464
2		67,5	0,936	1222,7	703,7	1223,6	2,352					2,8	14,7	80,8	16555	3,0		1,1	1591
3		65,7	0,951	1233,9	712,6	1234,7	2,363					3,3	15,1	78,0	15951	2,9		1,1	1522
PROMEDIO							2,358					2,9	14,7	80,6	16152	2,8		1,1	1566
1	6,5	67,7	0,936	1235,3	711,8	1236,4	2,355	2,413	2,605	2,671	1,0	3,1	14,9	79,4	16219	2,9	5,1	1,1	1557
2		65,7	0,951	1232,4	713,6	1233,2	2,372					3,2	15,0	78,6	12233	3,2		1,1	1167
3		65,9	0,947	1238,3	717,5	1239,7	2,371					2,5	14,4	82,6	14147	3,3		1,1	1371
PROMEDIO							2,371					2,5	14,4	82,4	14374	3,6		1,1	1388
1	7,0	67,7	0,936	1235,3	711,8	1236,4	2,355	2,413	2,605	2,671	1,0	2,9	14,7	80,6	16152	2,8	5,1	1,1	1566
2		65,7	0,951	1232,4	713,6	1233,2	2,372					3,2	15,0	78,6	12233	3,2		1,1	1167
3		65,9	0,947	1238,3	717,5	1239,7	2,371					2,5	14,4	82,6	14147	3,3		1,1	1371
PROMEDIO							2,371					2,9	14,7	80,6	16152	2,8		1,1	1566

ANEXO 2. GRAFICAS SOBRE EL METODO MARSHALL







ANEXO 3. METODO DE DISEÑO SUPERPAVE, MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON PBE

Gmm	2,4344	4604	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4344	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Promedio
Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	
0	130,7	1,993	2,022	83,04%	0	128,5	2,025	2,051	84,25%	83,64%
1	126,3	2,063	2,092	85,93%	1	124,4	2,092	2,118	87,02%	86,48%
2	124,4	2,094	2,124	87,25%	2	122,6	2,122	2,150	88,30%	87,77%
3	123,0	2,118	2,148	88,24%	3	121,3	2,145	2,173	89,25%	88,74%
4	122,0	2,136	2,166	88,96%	4	120,3	2,163	2,191	89,99%	89,48%
5	121,1	2,151	2,182	89,62%	5	119,5	2,177	2,205	90,59%	90,11%
6	120,5	2,162	2,193	90,07%	6	118,9	2,188	2,216	91,05%	90,56%
7	119,9	2,173	2,204	90,52%	7	118,4	2,198	2,226	91,43%	90,98%
8	119,4	2,182	2,213	90,90%	8	117,9	2,207	2,235	91,82%	91,36%
9	118,9	2,191	2,222	91,28%	9	117,5	2,214	2,243	92,13%	91,71%
10	118,6	2,197	2,228	91,51%	10	117,1	2,222	2,251	92,45%	91,98%
11	118,2	2,204	2,235	91,82%	11	116,8	2,228	2,256	92,68%	92,25%
12	117,9	2,210	2,241	92,06%	12	116,5	2,233	2,262	92,92%	92,49%
13	117,5	2,217	2,249	92,37%	13	116,2	2,239	2,268	93,16%	92,77%
14	117,2	2,223	2,254	92,61%	14	116,0	2,243	2,272	93,32%	92,97%
15	116,9	2,229	2,260	92,84%	15	115,7	2,249	2,278	93,57%	93,21%
16	116,7	2,233	2,264	93,00%	16	115,5	2,253	2,282	93,73%	93,37%
17	116,4	2,238	2,270	93,24%	17	115,3	2,257	2,286	93,89%	93,57%
18	116,3	2,240	2,272	93,32%	18	115,1	2,261	2,290	94,05%	93,69%
19	116,1	2,244	2,276	93,48%	19	114,9	2,265	2,294	94,22%	93,85%
20	115,9	2,248	2,280	93,65%	20	114,8	2,266	2,296	94,30%	93,97%
21	115,8	2,250	2,282	93,73%	21	114,6	2,270	2,300	94,46%	94,10%
22	115,6	2,254	2,286	93,89%	22	114,5	2,272	2,302	94,55%	94,22%
23	115,5	2,256	2,288	93,97%	23	114,3	2,276	2,306	94,71%	94,34%

Gmm	2,4344	4604	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4344	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm
24	115,3	2,260	2,292	94,13%	24	114,2	2,278	2,308	94,79%	94,46%
25	115,2	2,262	2,294	94,21%	25	114,1	2,280	2,310	94,88%	94,55%
26	115,1	2,264	2,296	94,30%	26	113,9	2,284	2,314	95,04%	94,67%
27	115,0	2,266	2,298	94,38%	27	113,8	2,286	2,316	95,13%	94,75%
28	114,9	2,267	2,300	94,46%	28	113,7	2,288	2,318	95,21%	94,84%
29	114,8	2,269	2,302	94,54%	29	113,6	2,290	2,320	95,30%	94,92%
30	114,7	2,271	2,304	94,63%	30	113,5	2,292	2,322	95,38%	95,00%
31	114,6	2,273	2,306	94,71%	31	113,4	2,294	2,324	95,46%	95,09%
32	114,5	2,275	2,308	94,79%	32	113,3	2,297	2,326	95,55%	95,17%
33	114,4	2,277	2,310	94,87%	33	113,2	2,299	2,328	95,63%	95,25%
34	114,3	2,279	2,312	94,96%	34	113,1	2,301	2,330	95,72%	95,34%
35	114,2	2,281	2,314	95,04%	35	113,0	2,303	2,332	95,80%	95,42%
36	114,1	2,283	2,316	95,12%	36	112,9	2,305	2,334	95,89%	95,50%
37	114,0	2,285	2,318	95,21%	37	112,9	2,305	2,334	95,89%	95,55%
38	114,0	2,285	2,318	95,21%	38	112,8	2,307	2,336	95,97%	95,59%
39	113,9	2,287	2,320	95,29%	39	112,7	2,309	2,338	96,06%	95,67%
40	113,8	2,289	2,322	95,37%	40	112,6	2,311	2,340	96,14%	95,76%
41	113,7	2,291	2,324	95,46%	41	112,5	2,313	2,343	96,23%	95,84%
42	113,7	2,291	2,324	95,46%	42	112,5	2,313	2,343	96,23%	95,84%
43	113,6	2,293	2,326	95,54%	43	112,4	2,315	2,345	96,31%	95,93%
44	113,5	2,295	2,328	95,63%	44	112,3	2,317	2,347	96,40%	96,01%
45	113,5	2,295	2,328	95,63%	45	112,3	2,317	2,347	96,40%	96,01%
46	113,4	2,297	2,330	95,71%	46	112,2	2,319	2,349	96,48%	96,10%
47	113,3	2,299	2,332	95,79%	47	112,2	2,319	2,349	96,48%	96,14%
48	113,3	2,299	2,332	95,79%	48	112,1	2,321	2,351	96,57%	96,18%
49	113,2	2,302	2,334	95,88%	49	112,0	2,323	2,353	96,66%	96,27%
50	113,2	2,302	2,334	95,88%	50	112,0	2,323	2,353	96,66%	96,27%
51	113,1	2,304	2,336	95,96%	51	111,9	2,325	2,355	96,74%	96,35%
52	113,1	2,304	2,336	95,96%	52	111,9	2,325	2,355	96,74%	96,35%

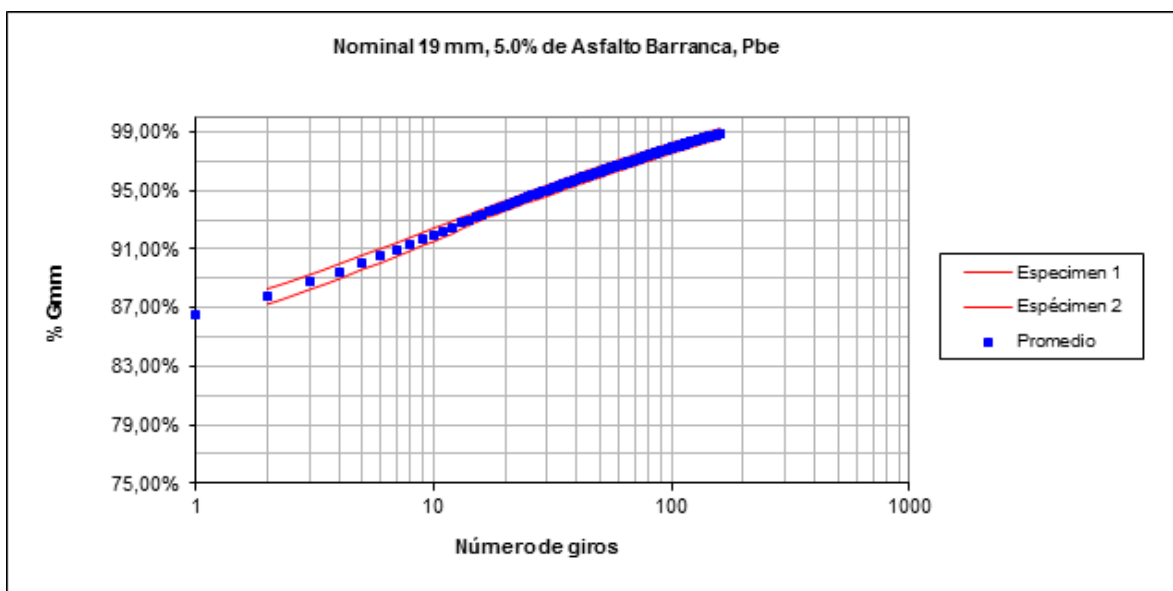
Gmm	2,4344	4604	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4344	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm
53	113,0	2,306	2,338	96,05%	53	111,8	2,327	2,357	96,83%	96,44%
54	112,9	2,308	2,340	96,13%	54	111,8	2,327	2,357	96,83%	96,48%
55	112,9	2,308	2,340	96,13%	55	111,7	2,329	2,359	96,92%	96,53%
56	112,8	2,310	2,342	96,22%	56	111,7	2,329	2,359	96,92%	96,57%
57	112,8	2,310	2,342	96,22%	57	111,6	2,331	2,361	97,00%	96,61%
58	112,7	2,312	2,344	96,30%	58	111,6	2,331	2,361	97,00%	96,65%
59	112,7	2,312	2,344	96,30%	59	111,5	2,334	2,364	97,09%	96,70%
60	112,6	2,314	2,347	96,39%	60	111,5	2,334	2,364	97,09%	96,74%
61	112,6	2,314	2,347	96,39%	61	111,4	2,336	2,366	97,18%	96,78%
62	112,6	2,314	2,347	96,39%	62	111,4	2,336	2,366	97,18%	96,78%
63	112,5	2,316	2,349	96,48%	63	111,3	2,338	2,368	97,26%	96,87%
64	112,5	2,316	2,349	96,48%	64	111,3	2,338	2,368	97,26%	96,87%
65	112,4	2,318	2,351	96,56%	65	111,3	2,338	2,368	97,26%	96,91%
66	112,4	2,318	2,351	96,56%	66	111,2	2,340	2,370	97,35%	96,96%
67	112,3	2,320	2,353	96,65%	67	111,2	2,340	2,370	97,35%	97,00%
68	112,3	2,320	2,353	96,65%	68	111,1	2,342	2,372	97,44%	97,04%
69	112,3	2,320	2,353	96,65%	69	111,1	2,342	2,372	97,44%	97,04%
70	112,2	2,322	2,355	96,73%	70	111,1	2,342	2,372	97,44%	97,09%
71	112,2	2,322	2,355	96,73%	71	111,0	2,344	2,374	97,53%	97,13%
72	112,1	2,324	2,357	96,82%	72	111,0	2,344	2,374	97,53%	97,17%
73	112,1	2,324	2,357	96,82%	73	111,0	2,344	2,374	97,53%	97,17%
74	112,1	2,324	2,357	96,82%	74	110,9	2,346	2,376	97,62%	97,22%
75	112,0	2,326	2,359	96,91%	75	110,9	2,346	2,376	97,62%	97,26%
76	112,0	2,326	2,359	96,91%	76	110,9	2,346	2,376	97,62%	97,26%
77	112,0	2,326	2,359	96,91%	77	110,8	2,348	2,378	97,70%	97,31%
78	111,9	2,328	2,361	96,99%	78	110,8	2,348	2,378	97,70%	97,35%
79	111,9	2,328	2,361	96,99%	79	110,8	2,348	2,378	97,70%	97,35%
80	111,9	2,328	2,361	96,99%	80	110,7	2,350	2,381	97,79%	97,39%
81	111,8	2,330	2,363	97,08%	81	110,7	2,350	2,381	97,79%	97,44%

Gmm	2,4344	4604	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4344	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm
82	111,8	2,330	2,363	97,08%	82	110,7	2,350	2,381	97,79%	97,44%
83	111,8	2,330	2,363	97,08%	83	110,6	2,353	2,383	97,88%	97,48%
84	111,7	2,332	2,365	97,17%	84	110,6	2,353	2,383	97,88%	97,52%
85	111,7	2,332	2,365	97,17%	85	110,6	2,353	2,383	97,88%	97,52%
86	111,7	2,332	2,365	97,17%	86	110,5	2,355	2,385	97,97%	97,57%
87	111,6	2,335	2,368	97,25%	87	110,5	2,355	2,385	97,97%	97,61%
88	111,6	2,335	2,368	97,25%	88	110,5	2,355	2,385	97,97%	97,61%
89	111,6	2,335	2,368	97,25%	89	110,5	2,355	2,385	97,97%	97,61%
90	111,5	2,337	2,370	97,34%	90	110,4	2,357	2,387	98,06%	97,70%
91	111,5	2,337	2,370	97,34%	91	110,4	2,357	2,387	98,06%	97,70%
92	111,5	2,337	2,370	97,34%	92	110,4	2,357	2,387	98,06%	97,70%
93	111,5	2,337	2,370	97,34%	93	110,3	2,359	2,389	98,15%	97,74%
94	111,4	2,339	2,372	97,43%	94	110,3	2,359	2,389	98,15%	97,79%
95	111,4	2,339	2,372	97,43%	95	110,3	2,359	2,389	98,15%	97,79%
96	111,4	2,339	2,372	97,43%	96	110,3	2,359	2,389	98,15%	97,79%
97	111,3	2,341	2,374	97,52%	97	110,2	2,361	2,391	98,24%	97,88%
98	111,3	2,341	2,374	97,52%	98	110,2	2,361	2,391	98,24%	97,88%
99	111,3	2,341	2,374	97,52%	99	110,2	2,361	2,391	98,24%	97,88%
100	111,3	2,341	2,374	97,52%	100	110,2	2,361	2,391	98,24%	97,88%
101	111,2	2,343	2,376	97,60%	101	110,1	2,363	2,394	98,32%	97,96%
102	111,2	2,343	2,376	97,60%	102	110,1	2,363	2,394	98,32%	97,96%
103	111,2	2,343	2,376	97,60%	103	110,1	2,363	2,394	98,32%	97,96%
104	111,2	2,343	2,376	97,60%	104	110,1	2,363	2,394	98,32%	97,96%
105	111,1	2,345	2,378	97,69%	105	110,1	2,363	2,394	98,32%	98,01%
106	111,1	2,345	2,378	97,69%	106	110,0	2,365	2,396	98,41%	98,05%
107	111,1	2,345	2,378	97,69%	107	110,0	2,365	2,396	98,41%	98,05%
108	111,1	2,345	2,378	97,69%	108	110,0	2,365	2,396	98,41%	98,05%
109	111,0	2,347	2,380	97,78%	109	110,0	2,365	2,396	98,41%	98,10%
110	111,0	2,347	2,380	97,78%	110	109,9	2,368	2,398	98,50%	98,14%

Gmm	2,4344	4604	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4344	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm
111	111,0	2,347	2,380	97,78%	111	109,9	2,368	2,398	98,50%	98,14%
112	111,0	2,347	2,380	97,78%	112	109,9	2,368	2,398	98,50%	98,14%
113	111,0	2,347	2,380	97,78%	113	109,9	2,368	2,398	98,50%	98,14%
114	110,9	2,349	2,382	97,87%	114	109,9	2,368	2,398	98,50%	98,19%
115	110,9	2,349	2,382	97,87%	115	109,8	2,370	2,400	98,59%	98,23%
116	110,9	2,349	2,382	97,87%	116	109,8	2,370	2,400	98,59%	98,23%
117	110,9	2,349	2,382	97,87%	117	109,8	2,370	2,400	98,59%	98,23%
118	110,8	2,351	2,385	97,96%	118	109,8	2,370	2,400	98,59%	98,27%
119	110,8	2,351	2,385	97,96%	119	109,8	2,370	2,400	98,59%	98,27%
120	110,8	2,351	2,385	97,96%	120	109,7	2,372	2,402	98,68%	98,32%
121	110,8	2,351	2,385	97,96%	121	109,7	2,372	2,402	98,68%	98,32%
122	110,8	2,351	2,385	97,96%	122	109,7	2,372	2,402	98,68%	98,32%
123	110,7	2,354	2,387	98,04%	123	109,7	2,372	2,402	98,68%	98,36%
124	110,7	2,354	2,387	98,04%	124	109,7	2,372	2,402	98,68%	98,36%
125	110,7	2,354	2,387	98,04%	125	109,6	2,374	2,405	98,77%	98,41%
126	110,7	2,354	2,387	98,04%	126	109,6	2,374	2,405	98,77%	98,41%
127	110,7	2,354	2,387	98,04%	127	109,6	2,374	2,405	98,77%	98,41%
128	110,7	2,354	2,387	98,04%	128	109,6	2,374	2,405	98,77%	98,41%
129	110,6	2,356	2,389	98,13%	129	109,6	2,374	2,405	98,77%	98,45%
130	110,6	2,356	2,389	98,13%	130	109,6	2,374	2,405	98,77%	98,45%
131	110,6	2,356	2,389	98,13%	131	109,5	2,376	2,407	98,86%	98,50%
132	110,6	2,356	2,389	98,13%	132	109,5	2,376	2,407	98,86%	98,50%
133	110,6	2,356	2,389	98,13%	133	109,5	2,376	2,407	98,86%	98,50%
134	110,5	2,358	2,391	98,22%	134	109,5	2,376	2,407	98,86%	98,54%
135	110,5	2,358	2,391	98,22%	135	109,5	2,376	2,407	98,86%	98,54%
136	110,5	2,358	2,391	98,22%	136	109,4	2,378	2,409	98,95%	98,59%
137	110,5	2,358	2,391	98,22%	137	109,4	2,378	2,409	98,95%	98,59%
138	110,5	2,358	2,391	98,22%	138	109,4	2,378	2,409	98,95%	98,59%
139	110,5	2,358	2,391	98,22%	139	109,4	2,378	2,409	98,95%	98,59%

Gmm	2,4344	4604	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4344	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm
140	110,4	2,360	2,393	98,31%	140	109,4	2,378	2,409	98,95%	98,63%
141	110,4	2,360	2,393	98,31%	141	109,4	2,378	2,409	98,95%	98,63%
142	110,4	2,360	2,393	98,31%	142	109,4	2,378	2,409	98,95%	98,63%
143	110,4	2,360	2,393	98,31%	143	109,3	2,381	2,411	99,04%	98,68%
144	110,4	2,360	2,393	98,31%	144	109,3	2,381	2,411	99,04%	98,68%
145	110,3	2,362	2,395	98,40%	145	109,3	2,381	2,411	99,04%	98,72%
146	110,3	2,362	2,395	98,40%	146	109,3	2,381	2,411	99,04%	98,72%
147	110,3	2,362	2,395	98,40%	147	109,3	2,381	2,411	99,04%	98,72%
148	110,3	2,362	2,395	98,40%	148	109,3	2,381	2,411	99,04%	98,72%
149	110,3	2,362	2,395	98,40%	149	109,2	2,383	2,413	99,14%	98,77%
150	110,3	2,362	2,395	98,40%	150	109,2	2,383	2,413	99,14%	98,77%
151	110,3	2,362	2,395	98,40%	151	109,2	2,383	2,413	99,14%	98,77%
152	110,2	2,364	2,398	98,49%	152	109,2	2,383	2,413	99,14%	98,81%
153	110,2	2,364	2,398	98,49%	153	109,2	2,383	2,413	99,14%	98,81%
154	110,2	2,364	2,398	98,49%	154	109,2	2,383	2,413	99,14%	98,81%
155	110,2	2,364	2,398	98,49%	155	109,2	2,383	2,413	99,14%	98,81%
156	110,2	2,364	2,398	98,49%	156	109,1	2,385	2,416	99,23%	98,86%
157	110,2	2,364	2,398	98,49%	157	109,1	2,385	2,416	99,23%	98,86%
158	110,2	2,364	2,398	98,49%	158	109,1	2,385	2,416	99,23%	98,86%
159	110,1	2,366	2,400	98,58%	159	109,1	2,385	2,416	99,23%	98,90%
160	110,1	2,366	2,400	98,58%	160	109,1	2,385	2,416	99,23%	98,90%
Gmb (Medido)		2,400	1,014140005		Gmb (Medido)		2,416	1,01284799		

ANEXO 4. GRAFICA DE LA MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON PBE



RESUMEN DE COMPACTACION DE LA MEZCLA DE PRUEBA

MEZCLA	%ASFALTO	%GMM A Nini	%Gmm A Nmáx	%Gmm a Ndis	%Vacios de aire	%VMA
1	5,00%	91,36%	98,90%	97,88%	2,12%	13,89%

ANEXO 5. MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON +0,5%

Gmm	2,4038	4598	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4038	4602	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Promedio
Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	
0	129,5	2,009	2,034	84,60%	0	127,1	2,049	2,069	86,06%	85,33%
1	125,2	2,078	2,103	87,50%	1	123,1	2,116	2,136	88,86%	88,18%
2	123,1	2,114	2,139	89,00%	2	121,3	2,147	2,168	90,17%	89,59%
3	121,8	2,136	2,162	89,95%	3	120,1	2,168	2,189	91,08%	90,51%
4	120,8	2,154	2,180	90,69%	4	119,1	2,187	2,208	91,84%	91,27%
5	119,9	2,170	2,196	91,37%	5	118,4	2,199	2,221	92,38%	91,88%
6	119,3	2,181	2,207	91,83%	6	117,7	2,213	2,234	92,93%	92,38%
7	118,7	2,192	2,219	92,29%	7	117,2	2,222	2,243	93,33%	92,81%
8	118,2	2,201	2,228	92,69%	8	116,7	2,232	2,253	93,73%	93,21%
9	117,7	2,211	2,237	93,08%	9	116,3	2,239	2,261	94,05%	93,57%
10	117,3	2,218	2,245	93,40%	10	116,0	2,245	2,267	94,29%	93,85%
11	117,0	2,224	2,251	93,64%	11	115,6	2,253	2,275	94,62%	94,13%
12	116,7	2,230	2,257	93,88%	12	115,3	2,259	2,280	94,87%	94,37%
13	116,4	2,235	2,262	94,12%	13	115,1	2,263	2,284	95,03%	94,58%
14	116,1	2,241	2,268	94,36%	14	114,8	2,268	2,290	95,28%	94,82%
15	115,9	2,245	2,272	94,52%	15	114,6	2,272	2,294	95,45%	94,99%
16	115,6	2,251	2,278	94,77%	16	114,4	2,276	2,298	95,61%	95,19%
17	115,4	2,255	2,282	94,93%	17	114,2	2,280	2,302	95,78%	95,36%
18	115,2	2,259	2,286	95,10%	18	114,0	2,284	2,306	95,95%	95,52%
19	115,0	2,263	2,290	95,26%	19	113,8	2,288	2,311	96,12%	95,69%
20	114,9	2,265	2,292	95,35%	20	113,7	2,290	2,313	96,20%	95,77%
21	114,7	2,268	2,296	95,51%	21	113,5	2,294	2,317	96,37%	95,94%
22	114,5	2,272	2,300	95,68%	22	113,4	2,296	2,319	96,46%	96,07%
23	114,4	2,274	2,302	95,76%	23	113,2	2,301	2,323	96,63%	96,20%

Gmm	2,4038	4598	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4038	4602	Mezcla de Prueba 2		% Gmm
24	114,2	2,278	2,306	95,93%	24	113,1	2,303	2,325	96,71%	96,32%
25	114,1	2,280	2,308	96,02%	25	113,0	2,305	2,327	96,80%	96,41%
26	114,0	2,282	2,310	96,10%	26	112,8	2,309	2,331	96,97%	96,53%
27	113,8	2,286	2,314	96,27%	27	112,7	2,311	2,333	97,06%	96,66%
28	113,7	2,288	2,316	96,35%	28	112,6	2,313	2,335	97,14%	96,75%
29	113,6	2,290	2,318	96,44%	29	112,5	2,315	2,337	97,23%	96,83%
30	113,5	2,292	2,320	96,52%	30	112,4	2,317	2,339	97,31%	96,92%
31	113,4	2,294	2,322	96,61%	31	112,3	2,319	2,341	97,40%	97,00%
32	113,3	2,297	2,324	96,69%	32	112,2	2,321	2,343	97,49%	97,09%
33	113,2	2,299	2,326	96,78%	33	112,1	2,323	2,346	97,58%	97,18%
34	113,1	2,301	2,328	96,86%	34	112,0	2,325	2,348	97,66%	97,26%
35	113,0	2,303	2,331	96,95%	35	111,9	2,327	2,350	97,75%	97,35%
36	112,9	2,305	2,333	97,04%	36	111,9	2,327	2,350	97,75%	97,39%
37	112,8	2,307	2,335	97,12%	37	111,8	2,329	2,352	97,84%	97,48%
38	112,7	2,309	2,337	97,21%	38	111,7	2,331	2,354	97,92%	97,57%
39	112,7	2,309	2,337	97,21%	39	111,6	2,334	2,356	98,01%	97,61%
40	112,6	2,311	2,339	97,29%	40	111,6	2,334	2,356	98,01%	97,65%
41	112,5	2,313	2,341	97,38%	41	111,5	2,336	2,358	98,10%	97,74%
42	112,4	2,315	2,343	97,47%	42	111,4	2,338	2,360	98,19%	97,83%
43	112,4	2,315	2,343	97,47%	43	111,4	2,338	2,360	98,19%	97,83%
44	112,3	2,317	2,345	97,55%	44	111,3	2,340	2,362	98,28%	97,92%
45	112,2	2,319	2,347	97,64%	45	111,2	2,342	2,365	98,36%	98,00%
46	112,2	2,319	2,347	97,64%	46	111,2	2,342	2,365	98,36%	98,00%
47	112,1	2,321	2,349	97,73%	47	111,1	2,344	2,367	98,45%	98,09%
48	112,0	2,323	2,351	97,82%	48	111,1	2,344	2,367	98,45%	98,13%
49	112,0	2,323	2,351	97,82%	49	111,0	2,346	2,369	98,54%	98,18%
50	111,9	2,325	2,353	97,90%	50	111,0	2,346	2,369	98,54%	98,22%
51	111,9	2,325	2,353	97,90%	51	110,9	2,348	2,371	98,63%	98,27%
52	111,8	2,327	2,356	97,99%	52	110,8	2,350	2,373	98,72%	98,36%

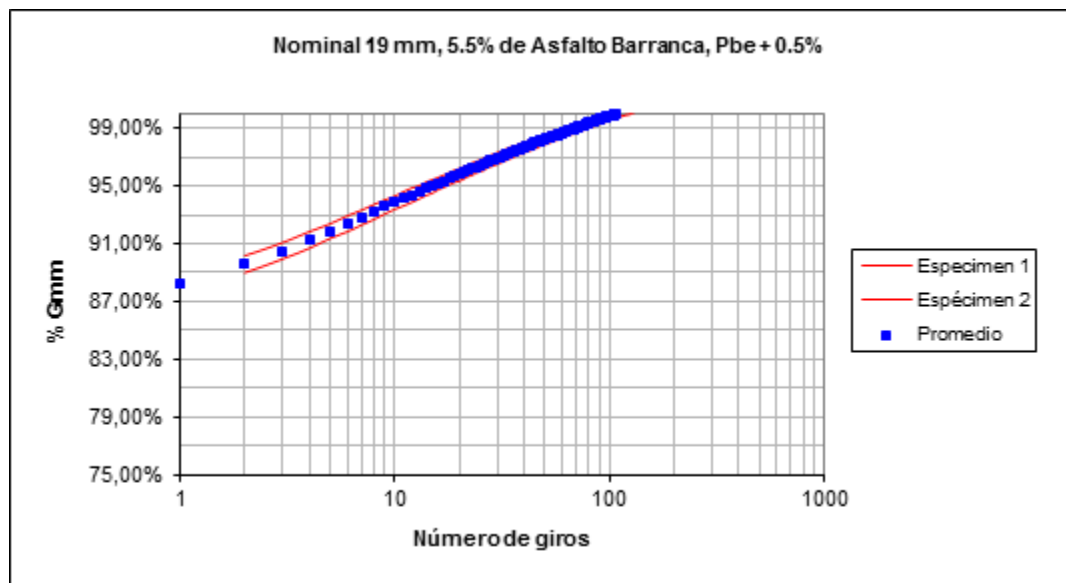
Gmm	2,4038	4598	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4038	4602	Mezcla de Prueba 2		% Gmm
53	111,8	2,327	2,356	97,99%	53	110,8	2,350	2,373	98,72%	98,36%
54	111,7	2,329	2,358	98,08%	54	110,7	2,352	2,375	98,81%	98,44%
55	111,7	2,329	2,358	98,08%	55	110,7	2,352	2,375	98,81%	98,44%
56	111,6	2,331	2,360	98,17%	56	110,7	2,352	2,375	98,81%	98,49%
57	111,6	2,331	2,360	98,17%	57	110,6	2,355	2,377	98,90%	98,53%
58	111,5	2,334	2,362	98,25%	58	110,6	2,355	2,377	98,90%	98,58%
59	111,5	2,334	2,362	98,25%	59	110,5	2,357	2,380	98,99%	98,62%
60	111,4	2,336	2,364	98,34%	60	110,5	2,357	2,380	98,99%	98,67%
61	111,4	2,336	2,364	98,34%	61	110,4	2,359	2,382	99,08%	98,71%
62	111,3	2,338	2,366	98,43%	62	110,4	2,359	2,382	99,08%	98,75%
63	111,3	2,338	2,366	98,43%	63	110,3	2,361	2,384	99,17%	98,80%
64	111,2	2,340	2,368	98,52%	64	110,3	2,361	2,384	99,17%	98,84%
65	111,2	2,340	2,368	98,52%	65	110,3	2,361	2,384	99,17%	98,84%
66	111,1	2,342	2,370	98,61%	66	110,2	2,363	2,386	99,26%	98,93%
67	111,1	2,342	2,370	98,61%	67	110,2	2,363	2,386	99,26%	98,93%
68	111,1	2,342	2,370	98,61%	68	110,2	2,363	2,386	99,26%	98,93%
69	111,0	2,344	2,373	98,70%	69	110,1	2,365	2,388	99,35%	99,02%
70	111,0	2,344	2,373	98,70%	70	110,1	2,365	2,388	99,35%	99,02%
71	111,0	2,344	2,373	98,70%	71	110,0	2,367	2,390	99,44%	99,07%
72	110,9	2,346	2,375	98,79%	72	110,0	2,367	2,390	99,44%	99,11%
73	110,9	2,346	2,375	98,79%	73	110,0	2,367	2,390	99,44%	99,11%
74	110,8	2,348	2,377	98,88%	74	109,9	2,370	2,393	99,53%	99,20%
75	110,8	2,348	2,377	98,88%	75	109,9	2,370	2,393	99,53%	99,20%
76	110,8	2,348	2,377	98,88%	76	109,9	2,370	2,393	99,53%	99,20%
77	110,7	2,350	2,379	98,96%	77	109,8	2,372	2,395	99,62%	99,29%
78	110,7	2,350	2,379	98,96%	78	109,8	2,372	2,395	99,62%	99,29%
79	110,7	2,350	2,379	98,96%	79	109,8	2,372	2,395	99,62%	99,29%
80	110,6	2,353	2,381	99,05%	80	109,7	2,374	2,397	99,71%	99,38%
81	110,6	2,353	2,381	99,05%	81	109,7	2,374	2,397	99,71%	99,38%

Gmm	2,4038	4598	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4038	4602	Mezcla de Prueba 2		% Gmm
82	110,6	2,353	2,381	99,05%	82	109,7	2,374	2,397	99,71%	99,38%
83	110,5	2,355	2,383	99,14%	83	109,7	2,374	2,397	99,71%	99,43%
84	110,5	2,355	2,383	99,14%	84	109,6	2,376	2,399	99,80%	99,47%
85	110,5	2,355	2,383	99,14%	85	109,6	2,376	2,399	99,80%	99,47%
86	110,4	2,357	2,385	99,23%	86	109,6	2,376	2,399	99,80%	99,52%
87	110,4	2,357	2,385	99,23%	87	109,5	2,378	2,401	99,89%	99,56%
88	110,4	2,357	2,385	99,23%	88	109,5	2,378	2,401	99,89%	99,56%
89	110,4	2,357	2,385	99,23%	89	109,5	2,378	2,401	99,89%	99,56%
90	110,3	2,359	2,388	99,32%	90	109,5	2,378	2,401	99,89%	99,61%
91	110,3	2,359	2,388	99,32%	91	109,4	2,380	2,403	99,98%	99,65%
92	110,3	2,359	2,388	99,32%	92	109,4	2,380	2,403	99,98%	99,65%
93	110,2	2,361	2,390	99,41%	93	109,4	2,380	2,403	99,98%	99,70%
94	110,2	2,361	2,390	99,41%	94	109,4	2,380	2,403	99,98%	99,70%
95	110,2	2,361	2,390	99,41%	95	109,3	2,383	2,406	100,07%	99,74%
96	110,2	2,361	2,390	99,41%	96	109,3	2,383	2,406	100,07%	99,74%
97	110,1	2,363	2,392	99,50%	97	109,3	2,383	2,406	100,07%	99,79%
98	110,1	2,363	2,392	99,50%	98	109,3	2,383	2,406	100,07%	99,79%
99	110,1	2,363	2,392	99,50%	99	109,2	2,385	2,408	100,17%	99,84%
100	110,1	2,363	2,392	99,50%	100	109,2	2,385	2,408	100,17%	99,84%
101	110,0	2,365	2,394	99,59%	101	109,2	2,385	2,408	100,17%	99,88%
102	110,0	2,365	2,394	99,59%	102	109,2	2,385	2,408	100,17%	99,88%
103	110,0	2,365	2,394	99,59%	103	109,2	2,385	2,408	100,17%	99,88%
104	110,0	2,365	2,394	99,59%	104	109,1	2,387	2,410	100,26%	99,93%
105	109,9	2,368	2,396	99,68%	105	109,1	2,387	2,410	100,26%	99,97%
106	109,9	2,368	2,396	99,68%	106	109,1	2,387	2,410	100,26%	99,97%
107	109,9	2,368	2,396	99,68%	107	109,1	2,387	2,410	100,26%	99,97%
108	109,9	2,368	2,396	99,68%	108	109,0	2,389	2,412	100,35%	100,02%
109	109,9	2,368	2,396	99,68%	109	109,0	2,389	2,412	100,35%	100,02%
110	109,8	2,370	2,398	99,78%	110	109,0	2,389	2,412	100,35%	100,06%

Gmm	2,4038	4598	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4038	4602	Mezcla de Prueba 2		% Gmm
111	109,8	2,370	2,398	99,78%	111	109,0	2,389	2,412	100,35%	100,06%
112	109,8	2,370	2,398	99,78%	112	109,0	2,389	2,412	100,35%	100,06%
113	109,8	2,370	2,398	99,78%	113	108,9	2,391	2,414	100,44%	100,11%
114	109,7	2,372	2,401	99,87%	114	108,9	2,391	2,414	100,44%	100,15%
115	109,7	2,372	2,401	99,87%	115	108,9	2,391	2,414	100,44%	100,15%
116	109,7	2,372	2,401	99,87%	116	108,9	2,391	2,414	100,44%	100,15%
117	109,7	2,372	2,401	99,87%	117	108,9	2,391	2,414	100,44%	100,15%
118	109,7	2,372	2,401	99,87%	118	108,9	2,391	2,414	100,44%	100,15%
119	109,6	2,374	2,403	99,96%	119	108,8	2,394	2,417	100,53%	100,25%
120	109,6	2,374	2,403	99,96%	120	108,8	2,394	2,417	100,53%	100,25%
121	109,6	2,374	2,403	99,96%	121	108,8	2,394	2,417	100,53%	100,25%
122	109,6	2,374	2,403	99,96%	122	108,8	2,394	2,417	100,53%	100,25%
123	109,6	2,374	2,403	99,96%	123	108,8	2,394	2,417	100,53%	100,25%
124	109,6	2,374	2,403	99,96%	124	108,8	2,394	2,417	100,53%	100,25%
125	109,5	2,376	2,405	100,05%	125	108,7	2,396	2,419	100,63%	100,34%
126	109,5	2,376	2,405	100,05%	126	108,7	2,396	2,419	100,63%	100,34%
127	109,5	2,376	2,405	100,05%	127	108,7	2,396	2,419	100,63%	100,34%
128	109,5	2,376	2,405	100,05%	128	108,7	2,396	2,419	100,63%	100,34%
129	109,5	2,376	2,405	100,05%	129	108,7	2,396	2,419	100,63%	100,34%
130	109,4	2,378	2,407	100,14%	130	108,7	2,396	2,419	100,63%	100,38%
131	109,4	2,378	2,407	100,14%	131	108,6	2,398	2,421	100,72%	100,43%
132	109,4	2,378	2,407	100,14%	132	108,6	2,398	2,421	100,72%	100,43%
133	109,4	2,378	2,407	100,14%	133	108,6	2,398	2,421	100,72%	100,43%
134	109,4	2,378	2,407	100,14%	134	108,6	2,398	2,421	100,72%	100,43%
135	109,4	2,378	2,407	100,14%	135	108,6	2,398	2,421	100,72%	100,43%
136	109,3	2,381	2,409	100,23%	136	108,6	2,398	2,421	100,72%	100,48%
137	109,3	2,381	2,409	100,23%	137	108,6	2,398	2,421	100,72%	100,48%
138	109,3	2,381	2,409	100,23%	138	108,6	2,398	2,421	100,72%	100,48%
139	109,3	2,381	2,409	100,23%	139	108,5	2,400	2,423	100,81%	100,52%

Gmm	2,4038	4598	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4038	4602	Mezcla de Prueba 2		% Gmm
140	109,3	2,381	2,409	100,23%	140	108,5	2,400	2,423	100,81%	100,52%
141	109,3	2,381	2,409	100,23%	141	108,5	2,400	2,423	100,81%	100,52%
142	109,3	2,381	2,409	100,23%	142	108,5	2,400	2,423	100,81%	100,52%
143	109,2	2,383	2,412	100,32%	143	108,5	2,400	2,423	100,81%	100,57%
144	109,2	2,383	2,412	100,32%	144	108,5	2,400	2,423	100,81%	100,57%
145	109,2	2,383	2,412	100,32%	145	108,5	2,400	2,423	100,81%	100,57%
146	109,2	2,383	2,412	100,32%	146	108,4	2,402	2,426	100,91%	100,61%
147	109,2	2,383	2,412	100,32%	147	108,4	2,402	2,426	100,91%	100,61%
148	109,2	2,383	2,412	100,32%	148	108,4	2,402	2,426	100,91%	100,61%
149	109,2	2,383	2,412	100,32%	149	108,4	2,402	2,426	100,91%	100,61%
150	109,1	2,385	2,414	100,42%	150	108,4	2,402	2,426	100,91%	100,66%
151	109,1	2,385	2,414	100,42%	151	108,4	2,402	2,426	100,91%	100,66%
152	109,1	2,385	2,414	100,42%	152	108,4	2,402	2,426	100,91%	100,66%
153	109,1	2,385	2,414	100,42%	153	108,4	2,402	2,426	100,91%	100,66%
154	109,1	2,385	2,414	100,42%	154	108,4	2,402	2,426	100,91%	100,66%
155	109,1	2,385	2,414	100,42%	155	108,3	2,405	2,428	101,00%	100,71%
156	109,1	2,385	2,414	100,42%	156	108,3	2,405	2,428	101,00%	100,71%
157	109,0	2,387	2,416	100,51%	157	108,3	2,405	2,428	101,00%	100,75%
158	109,0	2,387	2,416	100,51%	158	108,3	2,405	2,428	101,00%	100,75%
159	109,0	2,387	2,416	100,51%	159	108,3	2,405	2,428	101,00%	100,75%
160	109,0	2,387	2,416	100,51%	160	108,3	2,405	2,428	101,00%	100,75%
Gmb (Medido)		2,416	1,012132308		Gmb (Medido)		2,428	1,00966446		

ANEXO 6. GRAFICA DE LA MEZCLA COMPACTADA PBE +0,5%



ANEXO 7. MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON PBE -0,5%

Gmm	2,4590	4601	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4590	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Promedio
Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	
0	132,0	1,972	2,006	81,57%	0	130,5	1,994	2,026	82,39%	81,98%
1	127,4	2,044	2,078	84,52%	1	126,2	2,062	2,095	85,20%	84,86%
2	125,3	2,078	2,113	85,93%	2	124,2	2,095	2,129	86,57%	86,25%
3	123,9	2,101	2,137	86,91%	3	122,9	2,117	2,151	87,49%	87,20%
4	122,8	2,120	2,156	87,68%	4	121,9	2,134	2,169	88,20%	87,94%
5	122,0	2,134	2,170	88,26%	5	121,1	2,149	2,183	88,79%	88,52%
6	121,3	2,146	2,183	88,77%	6	120,4	2,161	2,196	89,30%	89,04%
7	120,7	2,157	2,194	89,21%	7	119,9	2,170	2,205	89,68%	89,44%
8	120,2	2,166	2,203	89,58%	8	119,4	2,179	2,214	90,05%	89,82%
9	119,7	2,175	2,212	89,95%	9	119	2,187	2,222	90,35%	90,15%
10	119,3	2,182	2,219	90,26%	10	118,6	2,194	2,229	90,66%	90,46%
11	119,0	2,188	2,225	90,48%	11	118,2	2,201	2,237	90,97%	90,72%
12	118,7	2,193	2,231	90,71%	12	117,9	2,207	2,242	91,20%	90,95%
13	118,4	2,199	2,236	90,94%	13	117,7	2,211	2,246	91,35%	91,15%
14	118,1	2,205	2,242	91,17%	14	117,4	2,216	2,252	91,59%	91,38%
15	117,9	2,208	2,246	91,33%	15	117,2	2,220	2,256	91,74%	91,53%
16	117,6	2,214	2,251	91,56%	16	117	2,224	2,260	91,90%	91,73%
17	117,4	2,218	2,255	91,72%	17	116,8	2,228	2,264	92,06%	91,89%
18	117,2	2,222	2,259	91,87%	18	116,6	2,232	2,267	92,21%	92,04%
19	117,0	2,225	2,263	92,03%	19	116,4	2,235	2,271	92,37%	92,20%
20	116,8	2,229	2,267	92,19%	20	116,2	2,239	2,275	92,53%	92,36%
21	116,7	2,231	2,269	92,27%	21	116,1	2,241	2,277	92,61%	92,44%
22	116,5	2,235	2,273	92,43%	22	115,9	2,245	2,281	92,77%	92,60%
23	116,4	2,237	2,275	92,50%	23	115,8	2,247	2,283	92,85%	92,68%

Gmm	2,4590	4601	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4590	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Promedio
Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	
24	116,2	2,241	2,279	92,66%	24	115,6	2,251	2,287	93,01%	92,84%
25	116,1	2,243	2,281	92,74%	25	115,5	2,253	2,289	93,09%	92,92%
26	116,0	2,245	2,283	92,82%	26	115,4	2,255	2,291	93,17%	93,00%
27	115,8	2,248	2,286	92,98%	27	115,3	2,257	2,293	93,25%	93,12%
28	115,7	2,250	2,288	93,06%	28	115,1	2,261	2,297	93,42%	93,24%
29	115,6	2,252	2,290	93,15%	29	115	2,263	2,299	93,50%	93,32%
30	115,5	2,254	2,292	93,23%	30	114,9	2,265	2,301	93,58%	93,40%
31	115,4	2,256	2,294	93,31%	31	114,8	2,266	2,303	93,66%	93,48%
32	115,3	2,258	2,296	93,39%	32	114,7	2,268	2,305	93,74%	93,56%
33	115,2	2,260	2,298	93,47%	33	114,6	2,270	2,307	93,82%	93,65%
34	115,1	2,262	2,300	93,55%	34	114,5	2,272	2,309	93,90%	93,73%
35	115,0	2,264	2,302	93,63%	35	114,5	2,272	2,309	93,90%	93,77%
36	114,9	2,266	2,304	93,71%	36	114,4	2,274	2,311	93,99%	93,85%
37	114,8	2,268	2,306	93,79%	37	114,3	2,276	2,313	94,07%	93,93%
38	114,7	2,270	2,308	93,88%	38	114,2	2,278	2,315	94,15%	94,01%
39	114,7	2,270	2,308	93,88%	39	114,1	2,280	2,317	94,23%	94,05%
40	114,6	2,272	2,310	93,96%	40	114,1	2,280	2,317	94,23%	94,10%
41	114,5	2,274	2,312	94,04%	41	114	2,282	2,319	94,32%	94,18%
42	114,4	2,276	2,314	94,12%	42	113,9	2,284	2,321	94,40%	94,26%
43	114,4	2,276	2,314	94,12%	43	113,8	2,286	2,323	94,48%	94,30%
44	114,3	2,278	2,316	94,20%	44	113,8	2,286	2,323	94,48%	94,34%
45	114,2	2,280	2,318	94,29%	45	113,7	2,288	2,325	94,57%	94,43%
46	114,2	2,280	2,318	94,29%	46	113,6	2,290	2,327	94,65%	94,47%
47	114,1	2,282	2,321	94,37%	47	113,6	2,290	2,327	94,65%	94,51%
48	114,0	2,284	2,323	94,45%	48	113,5	2,292	2,329	94,73%	94,59%
49	114,0	2,284	2,323	94,45%	49	113,5	2,292	2,329	94,73%	94,59%
50	113,9	2,286	2,325	94,54%	50	113,4	2,294	2,331	94,82%	94,68%

Gmm	2,4590	4601	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4590	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Promedio
Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	
51	113,8	2,288	2,327	94,62%	51	113,3	2,297	2,334	94,90%	94,76%
52	113,8	2,288	2,327	94,62%	52	113,3	2,297	2,334	94,90%	94,76%
53	113,7	2,290	2,329	94,70%	53	113,2	2,299	2,336	94,98%	94,84%
54	113,7	2,290	2,329	94,70%	54	113,2	2,299	2,336	94,98%	94,84%
55	113,6	2,292	2,331	94,79%	55	113,1	2,301	2,338	95,07%	94,93%
56	113,6	2,292	2,331	94,79%	56	113,1	2,301	2,338	95,07%	94,93%
57	113,5	2,294	2,333	94,87%	57	113	2,303	2,340	95,15%	95,01%
58	113,5	2,294	2,333	94,87%	58	113	2,303	2,340	95,15%	95,01%
59	113,4	2,296	2,335	94,95%	59	112,9	2,305	2,342	95,24%	95,09%
60	113,4	2,296	2,335	94,95%	60	112,9	2,305	2,342	95,24%	95,09%
61	113,3	2,298	2,337	95,04%	61	112,8	2,307	2,344	95,32%	95,18%
62	113,3	2,298	2,337	95,04%	62	112,8	2,307	2,344	95,32%	95,18%
63	113,2	2,300	2,339	95,12%	63	112,8	2,307	2,344	95,32%	95,22%
64	113,2	2,300	2,339	95,12%	64	112,7	2,309	2,346	95,40%	95,26%
65	113,2	2,300	2,339	95,12%	65	112,7	2,309	2,346	95,40%	95,26%
66	113,1	2,302	2,341	95,20%	66	112,6	2,311	2,348	95,49%	95,35%
67	113,1	2,302	2,341	95,20%	67	112,6	2,311	2,348	95,49%	95,35%
68	113,0	2,304	2,343	95,29%	68	112,6	2,311	2,348	95,49%	95,39%
69	113,0	2,304	2,343	95,29%	69	112,5	2,313	2,350	95,57%	95,43%
70	112,9	2,306	2,345	95,37%	70	112,5	2,313	2,350	95,57%	95,47%
71	112,9	2,306	2,345	95,37%	71	112,4	2,315	2,352	95,66%	95,52%
72	112,9	2,306	2,345	95,37%	72	112,4	2,315	2,352	95,66%	95,52%
73	112,8	2,308	2,347	95,46%	73	112,4	2,315	2,352	95,66%	95,56%
74	112,8	2,308	2,347	95,46%	74	112,3	2,317	2,354	95,74%	95,60%
75	112,8	2,308	2,347	95,46%	75	112,3	2,317	2,354	95,74%	95,60%
76	112,7	2,310	2,349	95,54%	76	112,3	2,317	2,354	95,74%	95,64%
77	112,7	2,310	2,349	95,54%	77	112,2	2,319	2,356	95,83%	95,69%

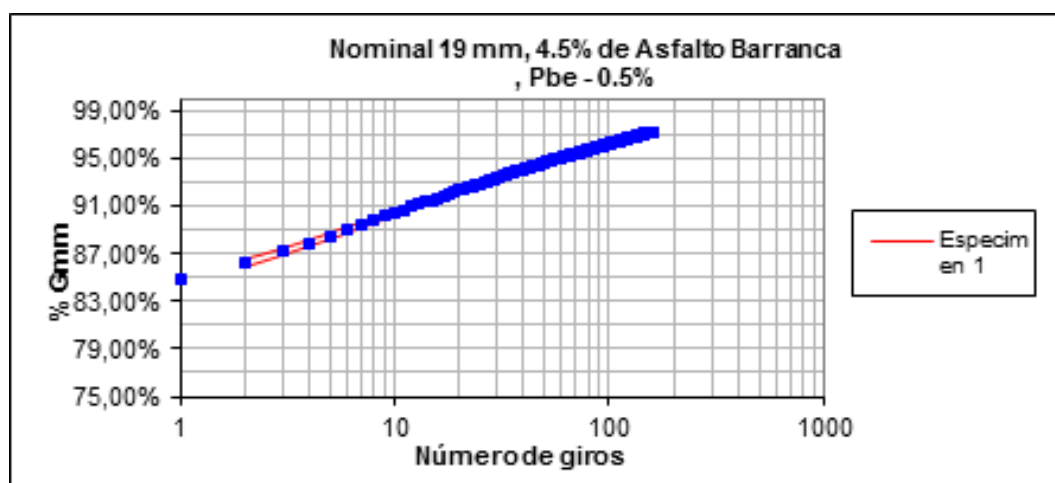
Gmm	2,4590	4601	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4590	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Promedio
Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	
78	112,7	2,310	2,349	95,54%	78	112,2	2,319	2,356	95,83%	95,69%
79	112,6	2,312	2,351	95,63%	79	112,2	2,319	2,356	95,83%	95,73%
80	112,6	2,312	2,351	95,63%	80	112,1	2,321	2,359	95,92%	95,77%
81	112,5	2,314	2,354	95,71%	81	112,1	2,321	2,359	95,92%	95,81%
82	112,5	2,314	2,354	95,71%	82	112,1	2,321	2,359	95,92%	95,81%
83	112,5	2,314	2,354	95,71%	83	112	2,323	2,361	96,00%	95,86%
84	112,5	2,314	2,354	95,71%	84	112	2,323	2,361	96,00%	95,86%
85	112,4	2,316	2,356	95,80%	85	112	2,323	2,361	96,00%	95,90%
86	112,4	2,316	2,356	95,80%	86	111,9	2,325	2,363	96,09%	95,94%
87	112,4	2,316	2,356	95,80%	87	111,9	2,325	2,363	96,09%	95,94%
88	112,3	2,318	2,358	95,88%	88	111,9	2,325	2,363	96,09%	95,98%
89	112,3	2,318	2,358	95,88%	89	111,8	2,327	2,365	96,17%	96,03%
90	112,3	2,318	2,358	95,88%	90	111,8	2,327	2,365	96,17%	96,03%
91	112,2	2,321	2,360	95,97%	91	111,8	2,327	2,365	96,17%	96,07%
92	112,2	2,321	2,360	95,97%	92	111,8	2,327	2,365	96,17%	96,07%
93	112,2	2,321	2,360	95,97%	93	111,7	2,329	2,367	96,26%	96,11%
94	112,2	2,321	2,360	95,97%	94	111,7	2,329	2,367	96,26%	96,11%
95	112,1	2,323	2,362	96,05%	95	111,7	2,329	2,367	96,26%	96,16%
96	112,1	2,323	2,362	96,05%	96	111,6	2,331	2,369	96,34%	96,20%
97	112,1	2,323	2,362	96,05%	97	111,6	2,331	2,369	96,34%	96,20%
98	112,0	2,325	2,364	96,14%	98	111,6	2,331	2,369	96,34%	96,24%
99	112,0	2,325	2,364	96,14%	99	111,6	2,331	2,369	96,34%	96,24%
100	112,0	2,325	2,364	96,14%	100	111,5	2,334	2,371	96,43%	96,29%
101	112,0	2,325	2,364	96,14%	101	111,5	2,334	2,371	96,43%	96,29%
102	111,9	2,327	2,366	96,23%	102	111,5	2,334	2,371	96,43%	96,33%
103	111,9	2,327	2,366	96,23%	103	111,5	2,334	2,371	96,43%	96,33%
104	111,9	2,327	2,366	96,23%	104	111,4	2,336	2,373	96,52%	96,37%

Gmm	2,4590	4601	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4590	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Promedio
Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	
105	111,9	2,327	2,366	96,23%	105	111,4	2,336	2,373	96,52%	96,37%
106	111,8	2,329	2,368	96,31%	106	111,4	2,336	2,373	96,52%	96,41%
107	111,8	2,329	2,368	96,31%	107	111,4	2,336	2,373	96,52%	96,41%
108	111,8	2,329	2,368	96,31%	108	111,3	2,338	2,375	96,60%	96,46%
109	111,8	2,329	2,368	96,31%	109	111,3	2,338	2,375	96,60%	96,46%
110	111,7	2,331	2,370	96,40%	110	111,3	2,338	2,375	96,60%	96,50%
111	111,7	2,331	2,370	96,40%	111	111,3	2,338	2,375	96,60%	96,50%
112	111,7	2,331	2,370	96,40%	112	111,3	2,338	2,375	96,60%	96,50%
113	111,7	2,331	2,370	96,40%	113	111,2	2,340	2,378	96,69%	96,54%
114	111,7	2,331	2,370	96,40%	114	111,2	2,340	2,378	96,69%	96,54%
115	111,6	2,333	2,373	96,48%	115	111,2	2,340	2,378	96,69%	96,59%
116	111,6	2,333	2,373	96,48%	116	111,2	2,340	2,378	96,69%	96,59%
117	111,6	2,333	2,373	96,48%	117	111,1	2,342	2,380	96,78%	96,63%
118	111,6	2,333	2,373	96,48%	118	111,1	2,342	2,380	96,78%	96,63%
119	111,5	2,335	2,375	96,57%	119	111,1	2,342	2,380	96,78%	96,67%
120	111,5	2,335	2,375	96,57%	120	111,1	2,342	2,380	96,78%	96,67%
121	111,5	2,335	2,375	96,57%	121	111,1	2,342	2,380	96,78%	96,67%
122	111,5	2,335	2,375	96,57%	122	111	2,344	2,382	96,87%	96,72%
123	111,5	2,335	2,375	96,57%	123	111	2,344	2,382	96,87%	96,72%
124	111,4	2,337	2,377	96,66%	124	111	2,344	2,382	96,87%	96,76%
125	111,4	2,337	2,377	96,66%	125	111	2,344	2,382	96,87%	96,76%
126	111,4	2,337	2,377	96,66%	126	111	2,344	2,382	96,87%	96,76%
127	111,4	2,337	2,377	96,66%	127	111	2,344	2,382	96,87%	96,76%
128	111,4	2,337	2,377	96,66%	128	110,9	2,346	2,384	96,95%	96,80%
129	111,3	2,339	2,379	96,74%	129	110,9	2,346	2,384	96,95%	96,85%
130	111,3	2,339	2,379	96,74%	130	110,9	2,346	2,384	96,95%	96,85%
131	111,3	2,339	2,379	96,74%	131	110,9	2,346	2,384	96,95%	96,85%

Gmm	2,4590	4601	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4590	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Promedio
Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	
132	111,3	2,339	2,379	96,74%	132	110,9	2,346	2,384	96,95%	96,85%
133	111,3	2,339	2,379	96,74%	133	110,8	2,348	2,386	97,04%	96,89%
134	111,3	2,339	2,379	96,74%	134	110,8	2,348	2,386	97,04%	96,89%
135	111,2	2,341	2,381	96,83%	135	110,8	2,348	2,386	97,04%	96,94%
136	111,2	2,341	2,381	96,83%	136	110,8	2,348	2,386	97,04%	96,94%
137	111,2	2,341	2,381	96,83%	137	110,8	2,348	2,386	97,04%	96,94%
138	111,2	2,341	2,381	96,83%	138	110,8	2,348	2,386	97,04%	96,94%
139	111,2	2,341	2,381	96,83%	139	110,7	2,350	2,388	97,13%	96,98%
140	111,1	2,344	2,383	96,92%	140	110,7	2,350	2,388	97,13%	97,02%
141	111,1	2,344	2,383	96,92%	141	110,7	2,350	2,388	97,13%	97,02%
142	111,1	2,344	2,383	96,92%	142	110,7	2,350	2,388	97,13%	97,02%
143	111,1	2,344	2,383	96,92%	143	110,7	2,350	2,388	97,13%	97,02%
144	111,1	2,344	2,383	96,92%	144	110,7	2,350	2,388	97,13%	97,02%
145	111,1	2,344	2,383	96,92%	145	110,6	2,353	2,391	97,22%	97,07%
146	111,0	2,346	2,385	97,01%	146	110,6	2,353	2,391	97,22%	97,11%
147	111,0	2,346	2,385	97,01%	147	110,6	2,353	2,391	97,22%	97,11%
148	111,0	2,346	2,385	97,01%	148	110,6	2,353	2,391	97,22%	97,11%
149	111,0	2,346	2,385	97,01%	149	110,6	2,353	2,391	97,22%	97,11%
150	111,0	2,346	2,385	97,01%	150	110,6	2,353	2,391	97,22%	97,11%
151	111,0	2,346	2,385	97,01%	151	110,5	2,355	2,393	97,30%	97,15%
152	111,0	2,346	2,385	97,01%	152	110,5	2,355	2,393	97,30%	97,15%
153	110,9	2,348	2,387	97,09%	153	110,5	2,355	2,393	97,30%	97,20%
154	110,9	2,348	2,387	97,09%	154	110,5	2,355	2,393	97,30%	97,20%
155	110,9	2,348	2,387	97,09%	155	110,5	2,355	2,393	97,30%	97,20%
156	110,9	2,348	2,387	97,09%	156	110,5	2,355	2,393	97,30%	97,20%
157	110,9	2,348	2,387	97,09%	157	110,5	2,355	2,393	97,30%	97,20%
158	110,9	2,348	2,387	97,09%	158	110,4	2,357	2,395	97,39%	97,24%

Gmm	2,4590	4601	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,4590	4598	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Promedio
Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	Numero de Giros	Ht (mm)	Gmb (Estimado)	Gmb (Corregido)	% Gmm	
159	110,8	2,350	2,390	97,18%	159	110,4	2,357	2,395	97,39%	97,29%
160	110,8	2,350	2,390	97,18%	160	110,5	2,355	2,393	97,30%	97,24%
Gmb (Medido)		2,390	1,016930311		Gmb (Medido)		2,393	1,01612956		

ANEXO 8. GRAFICA DE LA MEZCLA COMPACTADA



ANEXO 9. MEZCLA COMPACTADA CON PBE +1,0%

Gmm	2,3757	4595	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,3757	4586	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Prom
No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	
0	126,5	2,056	2,074	87,30%	0	127,0	2,043	2,063	86,82%	87,06%
1	122,6	2,121	2,140	90,08%	1	123,1	2,108	2,128	89,57%	89,82%
2	120,7	2,154	2,174	91,49%	2	121,3	2,139	2,159	90,90%	91,20%
3	119,4	2,178	2,197	92,49%	3	120,0	2,163	2,183	91,88%	92,19%
4	118,5	2,194	2,214	93,19%	4	119,0	2,181	2,201	92,66%	92,92%
5	117,7	2,209	2,229	93,83%	5	118,2	2,196	2,216	93,28%	93,55%
6	117,0	2,222	2,242	94,39%	6	117,5	2,209	2,229	93,84%	94,11%
7	116,5	2,232	2,252	94,79%	7	117,0	2,218	2,239	94,24%	94,52%
8	116,0	2,242	2,262	95,20%	8	116,5	2,228	2,248	94,64%	94,92%
9	115,6	2,249	2,270	95,53%	9	116,1	2,235	2,256	94,97%	95,25%
10	115,2	2,257	2,277	95,86%	10	115,7	2,243	2,264	95,30%	95,58%
11	114,9	2,263	2,283	96,11%	11	115,3	2,251	2,272	95,63%	95,87%
12	114,6	2,269	2,289	96,36%	12	115,0	2,257	2,278	95,88%	96,12%
13	114,3	2,275	2,295	96,62%	13	114,7	2,263	2,284	96,13%	96,37%
14	114,0	2,281	2,301	96,87%	14	114,4	2,268	2,290	96,38%	96,63%
15	113,8	2,285	2,305	97,04%	15	114,2	2,272	2,294	96,55%	96,80%
16	113,6	2,289	2,309	97,21%	16	114,0	2,276	2,298	96,72%	96,97%
17	113,4	2,293	2,314	97,38%	17	113,7	2,282	2,304	96,97%	97,18%
18	113,2	2,297	2,318	97,56%	18	113,6	2,284	2,306	97,06%	97,31%
19	113,0	2,301	2,322	97,73%	19	113,4	2,288	2,310	97,23%	97,48%
20	112,8	2,305	2,326	97,90%	20	113,2	2,293	2,314	97,40%	97,65%
21	112,7	2,307	2,328	97,99%	21	113,0	2,297	2,318	97,57%	97,78%
22	112,5	2,311	2,332	98,16%	22	112,9	2,299	2,320	97,66%	97,91%
23	112,4	2,313	2,334	98,25%	23	112,7	2,303	2,324	97,83%	98,04%

Gmm	2,3757	4595	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,3757	4586	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Prom
No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	
24	112,3	2,315	2,336	98,34%	24	112,6	2,305	2,326	97,92%	98,13%
25	112,1	2,320	2,340	98,51%	25	112,4	2,309	2,330	98,10%	98,30%
26	112,0	2,322	2,342	98,60%	26	112,3	2,311	2,333	98,18%	98,39%
27	111,9	2,324	2,345	98,69%	27	112,2	2,313	2,335	98,27%	98,48%
28	111,8	2,326	2,347	98,78%	28	112,1	2,315	2,337	98,36%	98,57%
29	111,7	2,328	2,349	98,87%	29	112,0	2,317	2,339	98,45%	98,66%
30	111,6	2,330	2,351	98,95%	30	111,9	2,319	2,341	98,53%	98,74%
31	111,5	2,332	2,353	99,04%	31	111,8	2,321	2,343	98,62%	98,83%
32	111,4	2,334	2,355	99,13%	32	111,7	2,323	2,345	98,71%	98,92%
33	111,3	2,336	2,357	99,22%	33	111,6	2,325	2,347	98,80%	99,01%
34	111,2	2,338	2,359	99,31%	34	111,5	2,327	2,349	98,89%	99,10%
35	111,2	2,338	2,359	99,31%	35	111,4	2,330	2,351	98,98%	99,14%
36	111,1	2,340	2,361	99,40%	36	111,3	2,332	2,354	99,07%	99,23%
37	111,0	2,343	2,364	99,49%	37	111,2	2,334	2,356	99,15%	99,32%
38	110,9	2,345	2,366	99,58%	38	111,1	2,336	2,358	99,24%	99,41%
39	110,9	2,345	2,366	99,58%	39	111,0	2,338	2,360	99,33%	99,46%
40	110,8	2,347	2,368	99,67%	40	111,0	2,338	2,360	99,33%	99,50%
41	110,7	2,349	2,370	99,76%	41	110,9	2,340	2,362	99,42%	99,59%
42	110,7	2,349	2,370	99,76%	42	110,8	2,342	2,364	99,51%	99,64%
43	110,6	2,351	2,372	99,85%	43	110,7	2,344	2,366	99,60%	99,73%
44	110,6	2,351	2,372	99,85%	44	110,7	2,344	2,366	99,60%	99,73%
45	110,5	2,353	2,374	99,94%	45	110,6	2,346	2,368	99,69%	99,82%
46	110,4	2,355	2,376	100,03%	46	110,5	2,349	2,371	99,78%	99,91%
47	110,4	2,355	2,376	100,03%	47	110,5	2,349	2,371	99,78%	99,91%
48	110,3	2,357	2,379	100,12%	48	110,4	2,351	2,373	99,87%	100,00%
49	110,3	2,357	2,379	100,12%	49	110,3	2,353	2,375	99,96%	100,04%
50	110,2	2,360	2,381	100,21%	50	110,3	2,353	2,375	99,96%	100,09%

Gmm	2,3757	4595	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,3757	4586	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Prom
No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	
51	110,2	2,360	2,381	100,21%	51	110,2	2,355	2,377	100,05%	100,13%
52	110,1	2,362	2,383	100,30%	52	110,2	2,355	2,377	100,05%	100,18%
53	110,1	2,362	2,383	100,30%	53	110,1	2,357	2,379	100,14%	100,22%
54	110,1	2,362	2,383	100,30%	54	110,1	2,357	2,379	100,14%	100,22%
55	110,0	2,364	2,385	100,39%	55	110,0	2,359	2,381	100,24%	100,31%
56	110,0	2,364	2,385	100,39%	56	110,0	2,359	2,381	100,24%	100,31%
57	109,9	2,366	2,387	100,48%	57	109,9	2,361	2,383	100,33%	100,41%
58	109,9	2,366	2,387	100,48%	58	109,9	2,361	2,383	100,33%	100,41%
59	109,9	2,366	2,387	100,48%	59	109,8	2,364	2,386	100,42%	100,45%
60	109,8	2,368	2,389	100,58%	60	109,8	2,364	2,386	100,42%	100,50%
61	109,8	2,368	2,389	100,58%	61	109,7	2,366	2,388	100,51%	100,54%
62	109,8	2,368	2,389	100,58%	62	109,7	2,366	2,388	100,51%	100,54%
63	109,7	2,370	2,392	100,67%	63	109,6	2,368	2,390	100,60%	100,63%
64	109,7	2,370	2,392	100,67%	64	109,6	2,368	2,390	100,60%	100,63%
65	109,7	2,370	2,392	100,67%	65	109,6	2,368	2,390	100,60%	100,63%
66	109,6	2,372	2,394	100,76%	66	109,5	2,370	2,392	100,69%	100,73%
67	109,6	2,372	2,394	100,76%	67	109,5	2,370	2,392	100,69%	100,73%
68	109,6	2,372	2,394	100,76%	68	109,4	2,372	2,394	100,79%	100,77%
69	109,5	2,375	2,396	100,85%	69	109,4	2,372	2,394	100,79%	100,82%
70	109,5	2,375	2,396	100,85%	70	109,4	2,372	2,394	100,79%	100,82%
71	109,5	2,375	2,396	100,85%	71	109,3	2,374	2,397	100,88%	100,86%
72	109,5	2,375	2,396	100,85%	72	109,3	2,374	2,397	100,88%	100,86%
73	109,4	2,377	2,398	100,94%	73	109,3	2,374	2,397	100,88%	100,91%
74	109,4	2,377	2,398	100,94%	74	109,2	2,377	2,399	100,97%	100,96%
75	109,4	2,377	2,398	100,94%	75	109,2	2,377	2,399	100,97%	100,96%
76	109,4	2,377	2,398	100,94%	76	109,2	2,377	2,399	100,97%	100,96%
77	109,3	2,379	2,400	101,04%	77	109,2	2,377	2,399	100,97%	101,00%

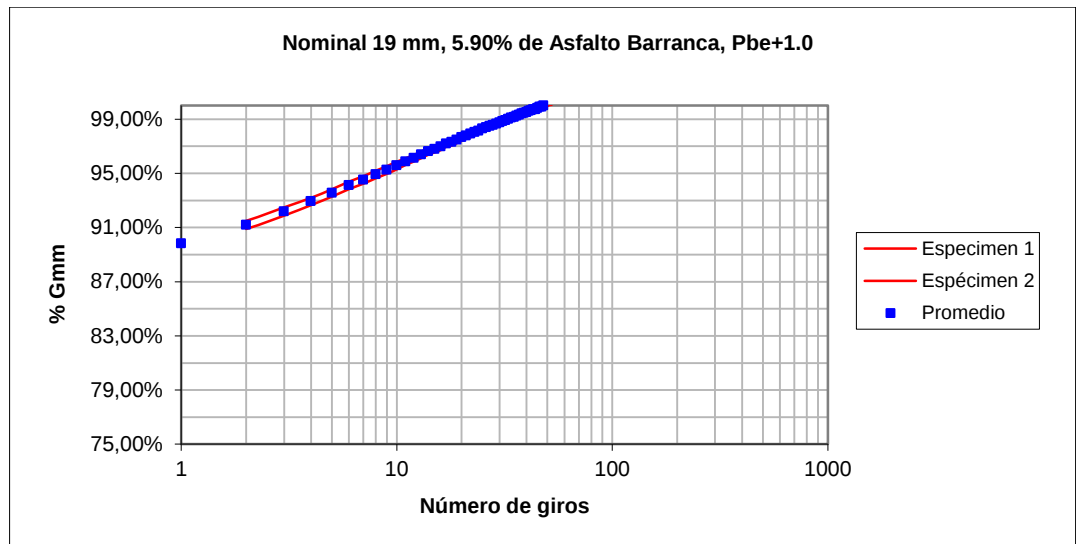
Gmm	2,3757	4595	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,3757	4586	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Prom
No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	
78	109,3	2,379	2,400	101,04%	78	109,1	2,379	2,401	101,06%	101,05%
79	109,3	2,379	2,400	101,04%	79	109,1	2,379	2,401	101,06%	101,05%
80	109,3	2,379	2,400	101,04%	80	109,1	2,379	2,401	101,06%	101,05%
81	109,2	2,381	2,403	101,13%	81	109,0	2,381	2,403	101,16%	101,14%
82	109,2	2,381	2,403	101,13%	82	109,0	2,381	2,403	101,16%	101,14%
83	109,2	2,381	2,403	101,13%	83	109,0	2,381	2,403	101,16%	101,14%
84	109,2	2,381	2,403	101,13%	84	109,0	2,381	2,403	101,16%	101,14%
85	109,1	2,383	2,405	101,22%	85	108,9	2,383	2,405	101,25%	101,23%
86	109,1	2,383	2,405	101,22%	86	108,9	2,383	2,405	101,25%	101,23%
87	109,1	2,383	2,405	101,22%	87	108,9	2,383	2,405	101,25%	101,23%
88	109,1	2,383	2,405	101,22%	88	108,9	2,383	2,405	101,25%	101,23%
89	109,1	2,383	2,405	101,22%	89	108,8	2,385	2,408	101,34%	101,28%
90	109,0	2,386	2,407	101,31%	90	108,8	2,385	2,408	101,34%	101,33%
91	109,0	2,386	2,407	101,31%	91	108,8	2,385	2,408	101,34%	101,33%
92	109,0	2,386	2,407	101,31%	92	108,8	2,385	2,408	101,34%	101,33%
93	109,0	2,386	2,407	101,31%	93	108,8	2,385	2,408	101,34%	101,33%
94	109,0	2,386	2,407	101,31%	94	108,7	2,387	2,410	101,43%	101,37%
95	109,0	2,386	2,407	101,31%	95	108,7	2,387	2,410	101,43%	101,37%
96	108,9	2,388	2,409	101,41%	96	108,7	2,387	2,410	101,43%	101,42%
97	108,9	2,388	2,409	101,41%	97	108,7	2,387	2,410	101,43%	101,42%
98	108,9	2,388	2,409	101,41%	98	108,7	2,387	2,410	101,43%	101,42%
99	108,9	2,388	2,409	101,41%	99	108,7	2,387	2,410	101,43%	101,42%
100	108,9	2,388	2,409	101,41%	100	108,6	2,390	2,412	101,53%	101,47%
101	108,8	2,390	2,411	101,50%	101	108,6	2,390	2,412	101,53%	101,51%
102	108,8	2,390	2,411	101,50%	102	108,6	2,390	2,412	101,53%	101,51%
103	108,8	2,390	2,411	101,50%	103	108,6	2,390	2,412	101,53%	101,51%
104	108,8	2,390	2,411	101,50%	104	108,6	2,390	2,412	101,53%	101,51%

Gmm	2,3757	4595	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,3757	4586	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Prom
No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	
105	108,8	2,390	2,411	101,50%	105	108,6	2,390	2,412	101,53%	101,51%
106	108,8	2,390	2,411	101,50%	106	108,6	2,390	2,412	101,53%	101,51%
107	108,8	2,390	2,411	101,50%	107	108,5	2,392	2,414	101,62%	101,56%
108	108,7	2,392	2,414	101,59%	108	108,5	2,392	2,414	101,62%	101,61%
109	108,7	2,392	2,414	101,59%	109	108,5	2,392	2,414	101,62%	101,61%
110	108,7	2,392	2,414	101,59%	110	108,5	2,392	2,414	101,62%	101,61%
111	108,7	2,392	2,414	101,59%	111	108,5	2,392	2,414	101,62%	101,61%
112	108,7	2,392	2,414	101,59%	112	108,5	2,392	2,414	101,62%	101,61%
113	108,7	2,392	2,414	101,59%	113	108,5	2,392	2,414	101,62%	101,61%
114	108,7	2,392	2,414	101,59%	114	108,5	2,392	2,414	101,62%	101,61%
115	108,7	2,392	2,414	101,59%	115	108,5	2,392	2,414	101,62%	101,61%
116	108,6	2,394	2,416	101,69%	116	108,5	2,392	2,414	101,62%	101,65%
117	108,6	2,394	2,416	101,69%	117	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,70%
118	108,6	2,394	2,416	101,69%	118	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,70%
119	108,6	2,394	2,416	101,69%	119	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,70%
120	108,6	2,394	2,416	101,69%	120	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,70%
121	108,6	2,394	2,416	101,69%	121	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,70%
122	108,6	2,394	2,416	101,69%	122	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,70%
123	108,6	2,394	2,416	101,69%	123	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,70%
124	108,6	2,394	2,416	101,69%	124	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,70%
125	108,6	2,394	2,416	101,69%	125	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,70%
126	108,5	2,397	2,418	101,78%	126	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,75%
127	108,5	2,397	2,418	101,78%	127	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,75%
128	108,5	2,397	2,418	101,78%	128	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,75%
129	108,5	2,397	2,418	101,78%	129	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,75%
130	108,5	2,397	2,418	101,78%	130	108,4	2,394	2,416	101,72%	101,75%
131	108,5	2,397	2,418	101,78%	131	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,80%

Gmm	2,3757	4595	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,3757	4586	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Prom
No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	
132	108,5	2,397	2,418	101,78%	132	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,80%
133	108,5	2,397	2,418	101,78%	133	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,80%
134	108,5	2,397	2,418	101,78%	134	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,80%
135	108,5	2,397	2,418	101,78%	135	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,80%
136	108,5	2,397	2,418	101,78%	136	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,80%
137	108,4	2,399	2,420	101,87%	137	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
138	108,4	2,399	2,420	101,87%	138	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
139	108,4	2,399	2,420	101,87%	139	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
140	108,4	2,399	2,420	101,87%	140	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
141	108,4	2,399	2,420	101,87%	141	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
142	108,4	2,399	2,420	101,87%	142	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
143	108,4	2,399	2,420	101,87%	143	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
144	108,4	2,399	2,420	101,87%	144	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
145	108,4	2,399	2,420	101,87%	145	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
146	108,4	2,399	2,420	101,87%	146	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
147	108,4	2,399	2,420	101,87%	147	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
148	108,4	2,399	2,420	101,87%	148	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
149	108,4	2,399	2,420	101,87%	149	108,3	2,396	2,419	101,81%	101,84%
150	108,4	2,399	2,420	101,87%	150	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,89%
151	108,4	2,399	2,420	101,87%	151	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,89%
152	108,3	2,401	2,423	101,97%	152	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,94%
153	108,3	2,401	2,423	101,97%	153	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,94%
154	108,3	2,401	2,423	101,97%	154	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,94%
155	108,3	2,401	2,423	101,97%	155	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,94%
156	108,3	2,401	2,423	101,97%	156	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,94%
157	108,3	2,401	2,423	101,97%	157	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,94%
158	108,3	2,401	2,423	101,97%	158	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,94%

Gmm	2,3757	4595	Mezcla de Prueba 1		Gmm	2,3757	4586	Mezcla de Prueba 2		% Gmm Prom
No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	No de Giros	Ht (mm)	Gmb (Est)	Gmb (Corr)	% Gmm	
159	108,3	2,401	2,423	101,97%	159	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,94%
160	108,3	2,401	2,423	101,97%	160	108,2	2,398	2,421	101,90%	101,94%
Gmb (Medido)		2,423	1,008972467		Gmb (Medido)		2,421	1,00937118		

ANEXO 10. GRAFICA DE LA MEZCLA COMPACTADA



ANEXO 11. CARTA DE PERMISO PARA PODER UTILIZAR LOS RESULTADOS DEL ENSAYO CPA



ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO



INGENIERÍA
CIVIL
ACREDITACIÓN
DE ALTA CALIDAD
7 años

Bogotá D.C., marzo 17 de 2010

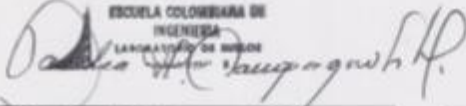
Señores
ASFALTART S.A.
Atn. : Ing. Pedro Javier Vargas Bayona
Jefe de Laboratorio
Bucaramanga

Anexo a la presente estamos entregando el informe IG – 031 – 10, correspondiente a los resultados de los ensayos de Coeficiente de Pulimento Acelerado solicitados por ustedes al Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela Colombiana de Ingeniería, el pasado 4 de marzo de 2010.

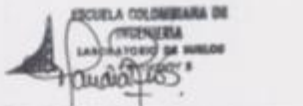
Los materiales recibidos y sometidos a ensayos, de acuerdo con la identificación dada por ustedes, fueron los siguientes:

- Muestra No 1: Material retenido en 1/2".
- Muestra No 2: Material retenido en 3/8".

Atenderemos con gusto cualquier aclaración al respecto.



Ing. Sandra X. Campagnoli Martínez
Laboratorio de Suelos y Pavimentos



Ing. Claudia Ríos Reyes
Laboratorio de Suelos y Pavimentos

Ak 45 N° 205-59 (autopista Norte, kilómetro 13)
PBX: (571) 668 3600 • Fax: 676 2340 • A.A. 14520 • Bogotá, D.C. (1029), Colombia
www.esceiing.edu.co